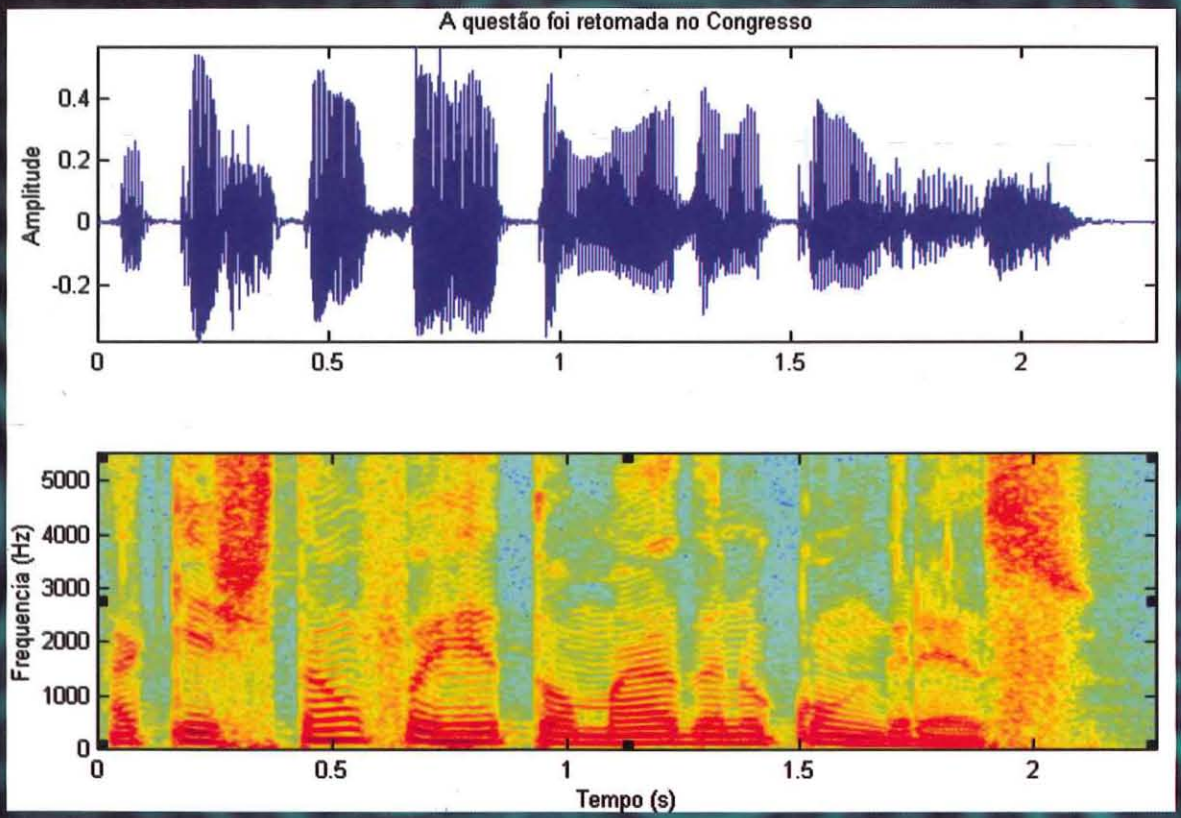
ISSN 0102-3542

REVISTA MILITAR DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
Vol. XVIII – 1º Quadrimestre de 2001



Reconhecendo a voz

TÃO MODERNA E ATUAL QUANTO OS MAIS NOBRES SENTIMENTOS MILITARES.

Biblioteca do Exército

Cada vez mais a serviço dos ideais, dos valores
e das necessidades da cultura militar brasileira.

acesse

www.bibliex.eb.br

Editorial

Se perguntarmos a alguém, supostamente bem informado sobre o assunto, onde está o núcleo das dificuldades profissionais enfrentadas pelas pessoas às quais estão atribuídos os encargos, as missões da área científico-tecnológica da Força Terrestre, a resposta nos dirá, com toda a certeza, que os problemas se resumem em: exigüidade de recursos financeiros e carência de pessoal especializado.

Essa resposta será, sem dúvida alguma, correta. Entretanto, acreditamos que ela possivelmente não estaria contando a história completa.

No que tange à causa, por assim dizer, instrumental *daquelas dificuldades, todos os que trabalhamos na área representada por esta revista sabemos muito bem que ensino, pesquisa e desenvolvimento se fazem com verbas e pessoal. Isto soa melancolicamente acaciano. Porém, ensinam-nos os doutos que a causa mais importante, a de maior hierarquia, é a causa* formal, *no sentido filosófico do termo. Talvez valha a pena pesquisar qual seria, na questão ora proposta, essa causa mais elevada.*

No editorial da RMCT do último quadrimestre do ano de 2000, referimo-nos a este interessante fato da história dos Estados Unidos: o ensino formal – isto é, metódico, organizado – de engenharia na grande nação do Norte não começou dentro de uma universidade.

Iniciou-se, sim, ao abrigo das veneráveis paredes da Academia Militar de West Point, no século XIX, quando aquele país não podia imaginar que viria a se transformar na tremenda potência científico-tecnológica de nossos dias. Iniciou-se naquela escola castrense antes de ser inserido no currículo das Stanford's e dos MIT's.

Parece-nos que na origem da solução de nossos problemas deveria estar justamente essa visão estratégica, *única capaz de fixar corajosas prioridades, mesmo em épocas de indiscutíveis dificuldades administrativas.*

Um pequeno exemplo que poderia ser dado neste momento – para que não se diga que estamos falando apenas em generalidades – é o que se refere aos critérios a serem adotados na montagem dos quadros de pessoal especializado, como é o caso dos pesquisadores necessários a certas organizações militares da Força Terrestre. Perguntaríamos: convém que sigamos as mesmas rígidas normas burocráticas estabelecidas para entidades civis, órgãos esses voltados, no caso geral, para objetivos distantes da preparação bélica? Seria razoável, por exemplo, deixarmos de contar com a importante colaboração de uma pessoa de reconhecida competência técnica, de nítida vocação para a pesquisa e, last but not least, *merecedora de nossa total confiança no que se refere à execução de determinadas tarefas de caráter sigiloso, deixar de contar com essa preciosa colaboração, repetimos, para atendermos à mera exigência formal (agora com o sentido corriqueiro da palavra), cabível em outro contexto?*

Exemplos análogos talvez pudessem ser dados, mas alongaríamos demais este simples editorial da RMCT. O mais importante foi deixar aqui ressaltada a desejável prevalência do fator estratégico.

Publicação de Pesquisa e Desenvolvimento Científico-Tecnológico do Exército Brasileiro

Sumário

Revista Militar de Ciência e Tecnologia

COMANDANTE DO EXÉRCITO
General-de-Exército Gleuber Vieira

SECRETÁRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
General-de-Exército Jorge Armando Felix

DIRETOR DE ASSUNTOS CULTURAIS
General-de-Divisão Synésio Scofano Fernandes

EDITOR
Coronel de Engenharia Luiz Eugênio Duarte Peixoto

CONSELHO EDITORIAL
Prof. Fernando Luis Cumplido Mac-Dowell da Costa, Dr.
Prof. José Carlos Araujo dos Santos, Dr.
Prof. Gary Santos Varandas, MC
Prof. Sérgio de Oliveira Vellozo, MC
Profª Maria Cristina Fogliatti de Sinay, Drª
Prof. Ronaldo Sérgio de Biasi, Dr.

REDATOR
Cel QEM Roberto Miscow Filho, MC

CORPO REDATORIAL
Cel QEM Geraldo Magela Pinheiro Gomes, Dr.
Cel José Paulo do Prado Dieguez, MC
Cel QEM Paulo Jorge Brandão Pereira, MC, IME

REDAÇÃO
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha,
Rio de Janeiro, RJ – CEP 22290-270
Tels.: (0XX-21) 543-1215 e 546-7080

ADMINISTRAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO
Palácio Duque de Caxias
Praça Duque de Caxias, 25 – 3º andar
Ala Marcilio Dias
Rio de Janeiro, RJ – Brasil – 20221-260
Tels.: (0XX-21) 519-5707 e 519-5715
Fax: (0XX-21) 519-5569
Ligação gratuita: 0800-238365
E-mail: bibliex@ism.com.br
Homepage: www.bibliex.eb.br

PROJETO GRÁFICO, EDITORAÇÃO E PROGRAMAÇÃO VISUAL
Maria José Peneluc
Tel.: (0XX-21) 772-6335

REVISÃO
Ellis Pinheiro e Ricardo B. P. B. Pereira

IMPRESSÃO
SERMOGRAF – Artes Gráficas Editora Ltda.
Telefax: (0XX-24) 237-3769 e 237-3709
E-mail: sermograf@sermograf.com.br

Os conceitos técnico-profissionais emitidos em trabalhos assinados são de responsabilidade dos autores, não refletindo necessariamente a opinião da Revista e do Exército Brasileiro.

A Revista não se responsabiliza pelos dados cujas fontes estejam devidamente citadas.

Salvo expressa disposição em contrário, é permitida a reprodução total ou parcial das matérias publicadas, desde que mencionados o autor e a fonte.

Aceita-se intercâmbio com publicações nacionais ou estrangeiras.

Os originais deverão ser digitados em folha A-4 com margens de 2,5cm, em espaço duplo e letras de 12 pontos (Times Roman), as figuras também deverão ser fornecidas em separado no formato "TIFF" (textos e imagens deverão ser entregues, impressos e em disquetes) e acompanhadas de uma síntese do currículo e de uma fotografia 3x4 do autor.

As referências bibliográficas devem ser feitas de acordo com as prescrições da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

ASSINATURAS E VENDAS DE NÚMEROS AVULSOS
A assinatura anual e venda de números avulsos são feitas na Administração.

Assinatura Anual
Brasil — R$ 40,00

REVISTA MILITAR DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
Rio de Janeiro
Volume XVIII - Nº 1
1º Quadrimestre de 2001

Editorial 01

PESQUISA

Material Cerâmico para Emprego em Blindagem 05
Luís Henrique Leme Louro, Alaelson Vieira Gomes e Carlos Roberto Corrêa da Costa

Cristalização do Vidro Metálico Metglas 2605S-3A: Estudo Comparativo entre Medidas de Ressonância Magnética e Resistividade Elétrica 11
R. S. de Biasi, A. A. R. Fernandes, L. Balinski e M. L. N. Grillo

A Abordagem Sistêmica e o Guiamento de Mísseis 17
Péricles Aguiar de Souza

Aplicação das Redes Neurais na Previsão do Comportamento de Mercados Financeiros 25
Cláudia Rodel Bosaipo

RESUMOS DE DISSERTAÇÕES DE MESTRADO

Diversos autores 34

DESENVOLVIMENTO E TECNOLOGIA

Um Pouco da História dos Explosivos através de seus Descobridores 43
Ubirajara da Silva Valença

Armas não Letais 63
Ana Luiza Barbosa de Oliveira

Visão Noturna e o Princípio de Intensificação de Luz Residual 72
Luciene da Silva Demenicis e Mauro Cezar Rebello Cordeiro

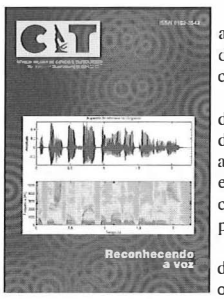
Especificação de Antenas de SHF 106
Marcello Praça Gomes da Silva

NOTICIÁRIO

Academia Brasileira de Engenharia Militar — ABEMI 136

13149-2001 018 001 JAN.- A
REVISTA MILITAR DE CIÊNCIA E

RECONHECENDO A VOZ



O reconhecimento automático da voz tem inúmeras aplicações militares, entre elas: a vigilância dos canais de comunicações, o controle de sistemas de armas e o comando de viaturas e aeronaves.

Nossa capa mostra, na parte superior da figura, a forma de onda de um certo sinal de voz, representada na escala do tempo. Ali podem ser percebidas: as sílabas tônicas e as sílabas átonas, os intervalos entre palavras (quando eles existem) ou as co-articulações (muito comuns na fala contínua, espontânea), e outros detalhes reconhecíveis pelos pesquisadores da voz humana.

Na parte inferior, está o chamado espectrograma daquele mesmo sinal de voz. Por meio desse espectrograma o pesquisador pode detectar importantes características da frase, tais como: a variação da energia e do espectro das freqüências ao longo do tempo. Tais características, além de várias outras, passando por um processo de adequada análise estatística, permitem inferir qual deve ter sido a frase ou o locutor que a pronunciou.

Qualidade da reprodução ao acabamento

Preocupação com qualidade é uma constante em nosso trabalho. Isso por que Sermograf entende o quanto a produção de um impresso significa na vida de seu negócio: É a sua imagem que vai ao mercado.

Fazemos dessa imagem, nossa principal responsabilidade. É por isso que, quando você encaminha um impresso para ser produzido em nossas máquinas, temos o maior cuidado e principalmente, o maior respeito por ele.

Não importa o tipo do impresso, de um simples cartão a um complexo catálogo, a qualidade Sermograf supera a expectativa.

pré impressão completa em Imagesetter Agfa
impressão e acabamento de alta qualidade para todo tipo de livros
máquinas quatro cores de última geração e grande formato

Imprima com máxima qualidade e total segurança na Sermograf.

SERMOGRAF
artes gráficas e editora ltda.

Rua São Sebastião, 199 - Petrópolis, RJ. 25 645-040
(24) 237 3769

MATERIAL CERÂMICO PARA EMPREGO EM BLINDAGEM

*Luís Henrique Leme Louro**
*Alaelson Vieira Gomes***
*Carlos Roberto Corrêa da Costa****

RESUMO

Corpos de prova de alumina, com adições de nióbia, sílica e magnésia, foram sinterizados a 1.400ºC na forma de discos e submetidos a impacto por projetis. As adições foram feitas com o objetivo de reduzir a temperatura de sinterização e controlar o tamanho de grão. Os discos sinterizados foram colados em uma placa de aço, e o conjunto submetido a teste balístico pelo impacto de projetis disparados por fuzil 7.62mm no Campo de Provas da Marambaia (CPrM). Mediu-se a velocidade do projetil antes e após o impacto a fim de quantificar a energia absorvida durante a fragmentação do cerâmico. Para fins de comparação, corpos de prova de alumina sem adições, nas mesmas dimensões, foram sinterizados a 1.400 e 1.600ºC, e também ensaiados balisticamente. Os resultados obtidos revelaram que as adições de nióbia e sílica contribuíram para melhorar a tenacidade à fratura dinâmica da alumina e reduzir significativamente a sua temperatura de sinterização.

* PhD, New Mexico Institute of Mining and Technology, Socorro – EUA. Professor e Pesquisador do Departamento de Engenharia Mecânica e de Materiais (DE/4), Instituto Militar de Engenharia (IME), louro@epq.ime.eb.br
** Mestre em Ciência dos Materiais pelo Instituto Militar de Engenharia. Professor do Departamento de Ensino Básico (DE/1), Instituto Militar de Engenharia (IME).
*** Engenheiro Metalurgista e Pesquisador do Departamento de Engenharia Mecânica e de Materiais (DE/4), Instituto Militar de Engenharia (IME).

INTRODUÇÃO

Nos sistemas de blindagem de viaturas militares, o cerâmico atua em combinação com outros materiais e constitui o principal elemento de absorção de energia transferida pelo projetil por ocasião do impacto.

Neste trabalho, materiais cerâmicos constituídos de alumina com adições de nióbia, sílica e magnésia foram submetidos a impacto por projetis 7.62mm a uma distância de cinco metros do alvo no Campo de Provas da Marambaia (CPrM). O objetivo foi desenvolver um componente cerâmico e testá-lo dinamicamente, para que se obtivesse um bom desempenho balístico a baixo custo.

O impacto do projetil com a placa cerâmica (Figura 1) cria ondas de choque compressivas[1] que se propagam no projetil e na blindagem nas suas respectivas velocidades sônicas. No caso do aço e da alumina, estas velocidades são respectivamente da ordem de 5.900 e 11.500m/s. A grande diferença entre elas promove uma interação no interior do projetil, acarretando normalmente sua fragmentação.

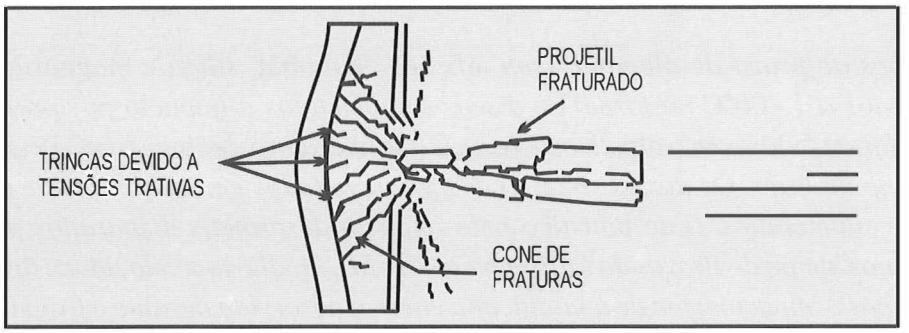


Figura 1: Dinâmica de fragmentação da blindagem e do projetil durante o impacto

O material cerâmico presente no sistema de blindagem deve ser capaz de absorver, durante sua fragmentação, a máxima energia possível do projetil, de modo que a energia restante transferida para a placa metálica de apoio seja absorvida sem que haja penetração.

MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se a alumina APC 2011-SG de baixo custo, fabricada no Brasil pela ALCOA, e, como aditivos, sílica, nióbia e magnésia. Foram investigadas composições variando em peso a nióbia, a sílica e a magnésia, sob mesmas condições de sinterização. Uma amostra de alumina importada de alta pureza, A-16 da ALCOA, foi obtida para servir de parâmetro de comparação, por ser um material já testado anteriormente em outros trabalhos.

A partir dos valores de propriedades das amostras, tais como densidade e módulo de elasticidade, calculou-se a velocidade das ondas elásticas durante o fenômeno de impacto.

Para os ensaios balísticos, um disco cerâmico sinterizado de 6cm de diâmetro foi confinado entre placas quadradas (10cm de lado e 1mm de espessura) de aço 1.020. Este dispositivo teve por finalidade permitir o resgate parcial dos fragmentos cerâmicos após os testes balísticos, para que as superfícies de fratura das amostras cerâmicas fragmentadas dinamicamente pudessem ser observadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), para fins de identificação dos mecanismos predominantes de fratura.

Mediram-se as massas e as velocidades dos projetis antes e após o impacto com os alvos por meio de barreiras ópticas, quantificando-se suas energias cinéticas. A "perda" de energia cinética do projetil está associada à absorção de energia pelo alvo, isto é, a sua tenacidade à fratura dinâmica. Descontando-se a participação das placas de aço, foi possível estimar a absorção de energia pelo cerâmico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta as composições das amostras relevantes, e os resultados obtidos estão na Tabela 2 e na Figura 2. A amostra #5 apresenta uma composição optimizada por Acchar[2] para aplicações estáticas, porém utilizando a alumina A-16.

Amostra Nº	Al_2O_3 (%peso)	Nb_2O_5 (%peso)	SiO_2 (%peso)	MgO (%peso)	Sinterização (ºC/h)
#1	100,00	-	-	-	1.600/1
#2	100,00	-	-	-	1.400/3
#3	96,00	4	-	-	1.400/3
#4	95,2	4	0,8	-	1.400/3
#5	94,05	4	0,8	1,15	1.400/3

Tabela 1: Principais Composições Investigadas e Condições de Sinterização

Amostra	Microdureza (HV)	Densificação (%DT)	$V_{longitudinal}$ (m/s)	Absorção de Energia (%)	Mecanismo Fratura
#1	1.261±58	84,2±2,2	7.157	72,4	Transg.
#2	242±23	64,5±2,4	3.577	53,0	Interg.
#3	1.319±135	87,2±2,4	7.922	93,1	Interg.
#4	775±39	86,3±1,4	7.702	92,4	Interg.
#5	1.028±47	89,8±4,4	8.647	89,3	Mista

Tabela 2: Resultados obtidos

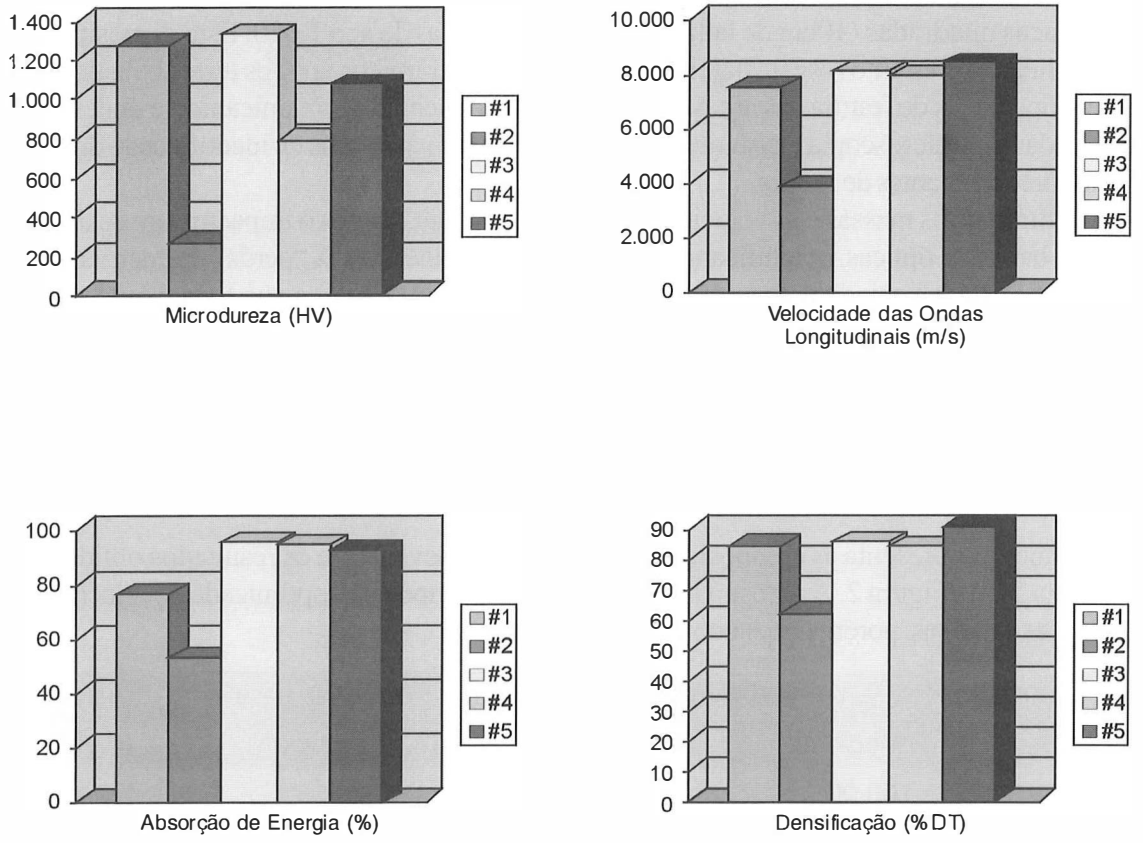


Figura 2: Gráficos comparativos das amostras cerâmicas

Comparando-se a densificação da amostra #1, alumina A-16 da ALCOA, com a da amostra #2, alumina APC 2011-SG da ALCOA, verifica-se que houve densificação da amostra #1 e não houve densificação satisfatória da amostra #2, devido à insuficiente ativação térmica para a difusão na temperatura de 1.400^{0}C. A amostra #2 mostrou fragilidade nos contornos de grão, fracamente ligados, com caráter intergranular da fratura observada no MEV. Em conseqüência, a amostra #2 exibiu baixas dureza e absorção de energia.

A amostra #1 apresentou uma fragmentação com predominância transgranular, o que implica menor livre caminho médio das trincas durante a passagem da onda de choque compressiva,[3,4,5] o que fez com que absorvesse menos energia do que as amostras #3 e #4.

A melhor densificação das amostras #3 e #4, em relação a #2 e até a #1, significa que a pequena adição de nióbia em #3 e de nióbia e sílica em #4 melhorou a sinterabilidade e absorção de energia do cerâmico. A presença da sílica junto com a nióbia reduziu a dureza da amostra #4 em comparação com a amostra #3. A presença da sílica provavelmente enfraqueceu a ligação entre os contornos de grão, o que contribuiu para a predominância do modo intergranular da fratura, com maior caminho de trinca durante a propagação da onda compressiva,[3] levando a um maior consumo de energia nesta propagação, observado na Tabela 2.

Embora tenha apresentado a melhor densificação, a amostra #5 não mostrou uma boa absorção de energia, provavelmente por ter sido fracamente pré-trincada durante a passagem do pulso compressivo inicial que precede o pulso trativo subseqüente. Portanto, a fragmentação ocorreu com menor caminho de trinca e menor absorção de energia.[3] A boa tenacidade à fratura das amostras com adições mostrou estar relacionada ao modo de fratura dinâmica, tendo sido observada uma predominância do modo intergranular e mista.

De acordo com os resultados do trabalho, o melhor desempenho balístico foi obtido nas amostras contendo nióbia ou nióbia e sílica. Acchar[1] verificou que a presença da nióbia contribui para o aumento do tamanho de grão da alumina, o que é uma característica desejável para um bom desempenho balístico, conforme verificado por Louro e Meyers.[4,5] Portanto, a presença de grãos maiores nestas composições favoreceu a melhor tenacidade à fratura dinâmica medida neste trabalho. Nas amostras contendo MgO, houve uma tendência de menor crescimento de grão e melhor densificação, porém, o desempenho balístico foi pior, provavelmente porque os contornos de grão atuam como sítios preferenciais de nucleação de microtrincas durante a fragmentação dinâmica, daí o menor tamanho de grão não ser favorável a emprego em aplicações dinâmicas.

CONCLUSÕES

1) A alumina APC 2011-SG com adições de nióbia, sílica e magnésia apresentou uma boa densificação a 1.400°C.

2) A tenacidade à fratura dinâmica da alumina com adições de nióbia e de nióbia e sílica foi superior à da alumina sem adições.

3) A melhor absorção de energia, entre as amostras com adições, mostrou estar associada à maior predominância de fratura intergranular.

4) É possível obter, a partir de alumina de baixo custo, um bom desempenho balístico para emprego em sistemas blindados, com adições de nióbia e sílica.

5) Dos resultados obtidos, as melhores composições para emprego em blindagem foram aquelas das amostras #3 e #4, com 4% de nióbia e com 4% de nióbia e 0,8% de sílica, respectivamente, todas elas sem a presença de MgO.

REFERÊNCIAS

1 – C. XAVIER, C. R. C. DA COSTA. *Estudo do Comportamento Mecânico de Placas de Alumina sob Impacto Balístico*. 28º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 30 (175) – Julho 1984, p. 161 a 168.

2 – W. ACCHAR. *Produção de Alumina Sinterizada com Adições de Nióbia.* Tese de Mestrado, IME, 1985, p. 76-132.

3 – R. C. LAIBLE. *Ballistic Materials and Penetration Mechanics.* Vol.5, Elsevier Scientific Publishing Company, p. 136-138, 1980.

3 – L.H.L. LOURO, M.A.MEYERS. *J.Mater.Sci.*, 24 (1989) 2.516.

4 – M.A.MEYERS. *Dynamic Behaviour of Materials.* Ed. John Wiley & Sons (1994) 558.

Não aja levado por furiosa ira. É como sair para o mar durante uma tempestade.

Thomas Fuller

A vida me parece curta demais para ser desperdiçada em animosidades ou percebendo erros.

Charlotte Brönte

Você dá muito pouco quando oferece seus bens. É quando dá de si que você realmente dá.

Kahlil Gibran

Saber não é o bastante; é preciso colocar o conhecimento em prática. Querer não é o suficiente; é preciso fazer.

Goethe

O único tirano que aceito neste mundo é a voz silenciosa dentro de mim.

Mahatma Gandhi

CRISTALIZAÇÃO DO VIDRO METÁLICO METGLAS 2605S-3A: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE MEDIDAS DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA E RESISTIVIDADE ELÉTRICA*

R. S. de Biasi (a)
A. A. R. Fernandes (b)
L. Balinski (c)
M. L. N. Grillo (d)

RESUMO

Medidas de resistividade e ressonância magnética foram realizadas em amostras como recebidas e parcialmente cristalizadas de um vidro metálico comercial, Metglas 2605S-3A. Como as medidas foram executadas no mesmo conjunto de amostras, a influência da preparação da amostra pode ser descartada e qualquer diferença nos resultados atribuída a diferenças intrínsecas dos dois métodos. Os resultados da presente investigação sugerem que as duas técnicas levam, essencialmente, aos mesmos resultados.

---

* Tradução do artigo: R. S. de Biasi, A. A. R. Fernandes, L. Balinski e M. L. N. Grillo, *Crystallization of the metallic glass Metglas 2605S-3A: Comparative study between ferromagnetic resonance and electrical resistivity measurements*, Mater.Res.Bull. 34, 1845 (1999).

a – Engenheiro Eletrônico (PUC), Mestre em Ciências em Engenharia Eletrônica (PUC) e PhD. em Engenharia Eletrônica (Universidade de Washington, Seattle, EUA). É Professor Titular do IME.
b – Físico (UFRJ), Mestre em Ciências em Ciência dos Materiais (IME) e Doutor em Ciência dos Materiais (IME). É Professor Adjunto da UFES.
c – Engenheiro Metalúrgico (IME).
d – Bacharel em Física (UERJ), Mestre em Ciências em Física (PUC) e Doutora em Física (UFRJ). É Professora Adjunta da UERJ.

INTRODUÇÃO

A estabilidade térmica dos vidros metálicos é um assunto de interesse considerável, já que as propriedades destes materiais de uso em engenharia podem ser consideravelmente modificadas pela cristalização. Os parâmetros cinéticos da reação, como energias de ativação e expoentes de Avrami, podem ser obtidos a partir da análise de medidas em função do tempo, t, e da temperatura, T, de um parâmetro p do material que está sendo investigado. A fração transformada, f, pode ser definida[1] através da equação:

$$f = \frac{p - p_0}{p_1 - p_0} \tag{1}$$

onde p_0 e p_1 são os valores do parâmetro no início e no final da transformação, respectivamente. No caso de transformações isotérmicas, a fração transformada é normalmente descrita pela equação de Johnson-Mehl-Avrami:[2]

$$f = 1 - \exp(-kt^n) \tag{2}$$

onde k é um fator independente da temperatura e n é uma constante conhecida como expoente de Avrami.

A largura de linha de ressonância ferromagnética[3-8] e a resistividade elétrica[9-15] parecem ser parâmetros convenientes para estudar a cristalização de vidros metálicos, porque são técnicas rápidas, sensíveis e não-destrutivas. Entretanto, a literatura mostra que os resultados obtidos usando as duas técnicas para estudar o mesmo material são às vezes discrepantes. No caso do vidro metálico Vitrovac 0040 ($Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$), por exemplo, o expoente de Avrami medido por ressonância[6] é 1,58, enquanto o valor medido por resistividade[15] é 1,75. Como os dois métodos são indiretos, é importante determinar se estas diferenças devem-se ao método usado para preparar as amostras ou a diferenças intrínsecas entre os dois métodos.

MÉTODO EXPERIMENTAL

A liga de composição nominal $Fe_{76}B_{16}Si_5Cr_2C_1$ foi fornecida na forma de fitas com 25mm de largura e 30μm de espessura. Os tratamentos térmicos foram executados em atmosfera ambiente, em pequenos pedaços do material (dimensões típicas: 4mm x 3mm), em um forno tubular com uma precisão de ±1 K. Todos os tratamentos foram realizados a 733K.

Os espectros de ressonância ferromagnética foram obtidos à temperatura ambiente em um espectrômetro Varian E-12 operando na banda X. Todas as medidas foram executadas com o campo estático paralelo à superfície da amostra e ao longo da maior dimensão da fita.

As medidas de resistividade elétrica foram executadas à temperatura ambiente, em um Sistema de Medida de Efeito Hall Bio-Rad HL5500PC, usando o método de van der Pauw. Todos os pontos experimentais representam a média de medidas executadas em pelo menos três amostras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra os espectros de ressonância ferromagnética de uma amostra virgem de Metglas 2605S-3A e de uma amostra tratada durante 3h a 733K. Embora a largura de linha seja claramente maior, a amostra tratada não pode ser medida em termos da largura de linha pico-a-pico, como tem sido feito para outros vidros metálicos,[3-8] porque a parte de baixo campo da primeira derivada da curva de absorção está parcialmente ausente. Como estamos interessados apenas na variação relativa da largura de linha devido à cristalização, podemos, em vez disso, medir a largura total a meia altura, ΔH, da parte de alto campo da primeira derivada da curva de absorção, como na Figura 1. Este parâmetro de largura de linha é mostrado na Figura 2, em função do tempo de tratamento. Os pontos são resultados experimentais; a curva é um ajuste dos resultados experimentais à equação:

$$\Delta H = \Delta H_0 + (\Delta H_1 - \Delta H_0)[1 - \exp(-kt^n)] \qquad (3)$$

que pode ser obtida a partir das equações 1 e 2 fazendo $p = \Delta H$, $p_o = \Delta H_o$, $p_1 = \Delta H_1$. Os valores dos parâmetros que permitem um melhor ajuste aos resultados experimentais são $\Delta H_o = 44$ mT, $\Delta H_1 = 162$mT, $k = 0{,}32\text{h}^{-1}$ e $n = 1{,}05$.

O erro médio quadrático, $\chi^2 = 2{,}85$, foi calculado usando a expressão:

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}[f(X_i) - Y_i]^2}{N - 1} \qquad (4)$$

onde $f(X_i)$ são os valores calculados usando a função, Y_i são os resultados experimentais e N é o número de pontos experimentais.

A resistividade elétrica das mesmas amostras de Metglas 2605S-3A aparece na Figura 3, em função do tempo de tratamento. Os pontos são dados experimentais; a curva é um ajuste dos dados de resistividade elétrica à equação:

$$p = p_0 + (p_1 - p_0[1 - \exp(-k^m)] \qquad (5)$$

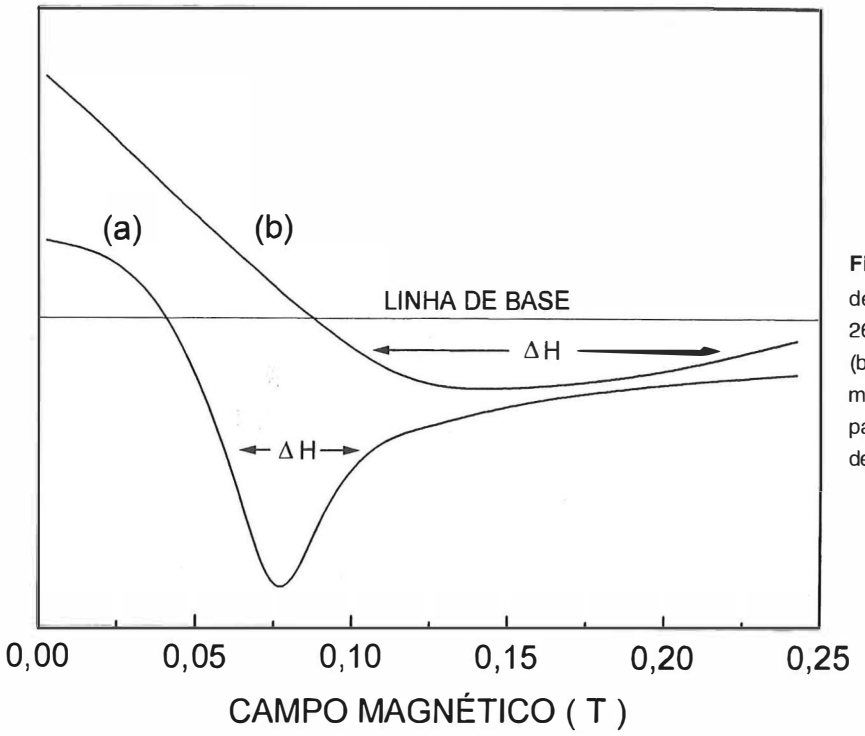


Figura 1: Espectros de RFM de amostras de Metglas 2605S-3A (a) como recebido; (b) recozido por 3h a 733K, mostrando o método usado para determinar o parâmetro de largura de linha

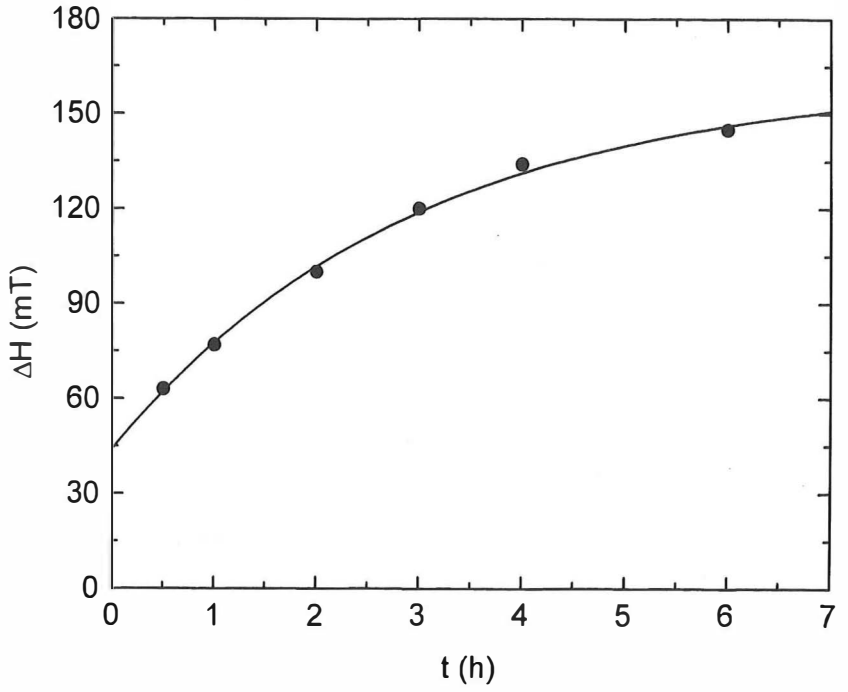


Figura 2: Parâmetro de largura de linha de RFM em função do tempo de tratamento

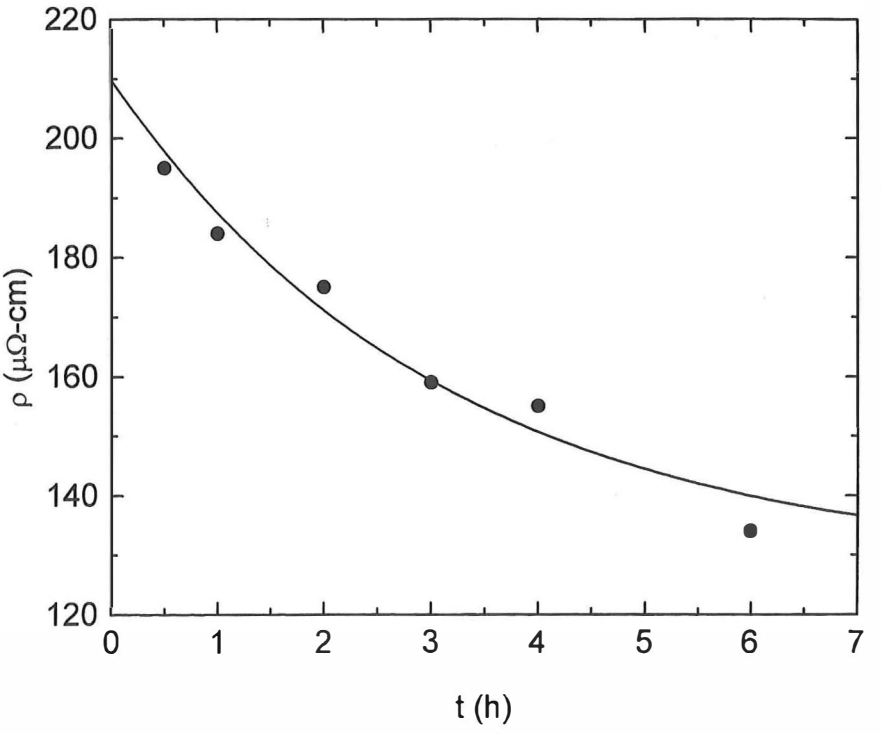


Figura 3: Resistividade elétrica em função do tempo de tratamento

que pode ser obtida a partir das equações 1 e 2 fazendo $p = p$, $p_o = p_o$, $p_1 = p_1$. Os valores dos parâmetros que permitem um melhor ajuste aos resultados experimentais são $p_o = 210\ \mu\Omega$-cm, $p_1 = 128\ \mu\Omega$-cm, $k = 0{,}32\ h^{-1}$ e $n = 1{,}00$. O erro médio quadrático, calculado usando a equação 4, foi $\chi^2 = 17{,}8$.

CONCLUSÕES

O fato de que os valores dos parâmetros cinéticos k e n medidos usando os métodos de ressonância ferromagnética e resistividade elétrica apresentam boa concordância quando o mesmo conjunto de amostras é utilizado para os dois tipos de medidas sugere que as diferenças entre os dois resultados apresentados na literatura para o mesmo material, empregando as duas técnicas, devem-se aos métodos usados para preparar as amostras e não a diferenças intrínsecas entre as duas técnicas. Os resultados do presente trabalho mostram, porém, que, pelo menos neste caso particular, o método da ressonância ferromagnética é mais preciso do que o método da resistividade elétrica, já que o erro médio quadrático é bem menor para os dados de ressonância do que para os dados de resistividade. É difícil dizer se as conclusões apresentadas neste trabalho são gerais; entretanto, esperamos que se apliquem pelo menos a vidros metálicos na mesma faixa de composições que o material estudado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 – MITTEMEIJER, E.J., VAN GENT, A. e VAN DER SCHAAF, P.J. *Metall.Trans.* 17A, 1441 (1986).
2 – ZANOTTO, E.D. e GALHARDI, A. *J. Non-Cryst. Solids* 104, 73 (1988).
3 – DE BIASI, R.S. e RODRIGUES, R.W.D. *J.Mater.Sci.* 20, 845 (1985).
4 – DE BIASI, R.S. e FERNANDES, A.A.R. *J.Magn.Magn.Mater.* 54-57, 253 (1986).
5 – DE BIASI, R.S. e FERNANDES, A.A.R. *J.Mater.Sci.Lett.* 5, 1258 (1986).
6 – DE BIASI, R.S. e FERNANDES, A.A.R. *J.Mater.Sci.* 24, 41 (1989).
7 – BALASUBRAMANIAN, G. e TIWARI, A.N. e SRIVASTAVA, C.M. *J.Mater.Sci.* 25, 1636 (1990).
8 – DE BIASI, R.S. e D'ALMEIDA, F.M.R. *J.Mater.Sci.Lett.* 11, 1696 (1992).
9 – OREHOTSKY, J. *J.Appl.Phys.* 50, 7612 (1979).
10 – BAIBICH, M.N., MUIR, W.B. e VAN WYCK, D.R. *J.Appl.Phys.* 52, 1886 (1981).
11 – KUO, Y.C., ZHANG, L.S. e ZHANG, W.K. *J.Appl.Phys.* 52, 1889 (1981).
12 – CRIADO, A., CUMBRERA, F.L., CONDE, A. e MARQUEZ, R. *J.Mater.Sci.* 19, 1535 (1983).
13 – JONES, G.A., BONNETT, P. e PARKER, S.F.H. *J.Magn.Magn.Mater.* 58, 216 (1986).
14 – NABEREZHNYKH, V.P., TKACH, V.I., LIMANOVSKIY, A.I. e KAMENEVA, V.Yu. *Phys.Met.Metall.* 71, 153 (1991).
15 – MITRA, A., RAO, V., PRAMANIK, S. e MOHANTY, N. *J.Mater.Sci.* 27, 5863 (1992).

O degrau de uma escada não foi criado para o descanso,
mas apenas para sustentar o pé de um homem
por tempo suficiente para que ele coloque o outro pé
um pouco mais alto.

Thomas Huxley

Podemos perdoar facilmente uma criança
com medo do escuro; a verdadeira tragédia da vida
é quando os adultos têm medo da luz.

Platão

Nossos planos fracassam porque não temos uma meta.
Quando um homem não sabe a que porto está se dirigindo,
nenhum vento é o correto.

Sêneca

A ABORDAGEM SISTÊMICA E O GUIAMENTO DE MÍSSEIS

*Péricles Aguiar de Souza**

INTRODUÇÃO

A expressão "conceito sistêmico" é usada aqui como uma tentativa de estabelecer uma imagem mental de que o sistema está um grau acima de suas partes componentes.

Os sistemas de nosso interesse são os de guiamento de mísseis, os quais são compostos de sensores e circuitos de comunicações e controle, entre outros. Os princípios empregados são válidos não somente para um sistema de guiamento de mísseis, mas para qualquer sistema complexo, seja ele elétrico, mecânico ou fisiológico. Um processo de fabricação automatizado pode empregar todos os elementos básicos e gerar problemas extremamente similares, em princípio àqueles identificados na área de mísseis.

INTRODUÇÃO AO PENSAMENTO SISTÊMICO

Origem do Pensamento Sistêmico

A origem do pensamento sistêmico ocorreu quando os seres humanos desenvolveram a característica de classificar objetos de acordo com as propriedades comuns. Inicialmente, os primitivos começaram a perceber que era útil distinguir corpos com vida de corpos inanimados. Refinamentos posteriores deste conceito levaram a distinções dentro destas categorias. Corpos com vida poderiam ser classificados em animais e plantas, pois todos os corpos dentro de cada uma destas categorias compartilham certas propriedades comuns.

* Tenente-Coronel R1; Engenheiro de Eletrônica no IME em 1980, Mestre em Ciências no IME em 1988. É Professor Assistente do CEFET-RJ.

Este processo de classificações cada vez mais refinado continua até os dias de hoje.

Um outro aspecto da origem do pensamento sistêmico foi a constatação que objetos são compostos de componentes e que estes são inter-relacionados e interdependentes. Este tipo de pensamento é bem mais recente na história humana; surgiu, aproximadamente, a uns quatro mil anos atrás. Somente nos últimos duzentos anos, fomos capazes de entender a natureza das relações e interdependências entre os componentes de que é constituído um objeto. A nossa capacidade de exercer controle sobre estas relações e interdependências existe somente a pouco menos de um século.

Um dos desenvolvimentos críticos, relativo à origem do pensamento sistêmico, é o de causa e efeito. Isto significou mais um refinamento das interdependências entre os objetos que estão mutuamente relacionados de alguma forma. O conceito de causa e efeito vem do reconhecimento de que um determinado objeto ao se comportar de uma certa forma provoca em um outro objeto do mesmo grupo um comportamento de alguma forma previsível. O comportamento do objeto afetado pode ser imediato ou retardado. Pode ser similar ou oposto ao comportamento do objeto atuador. Pode ser determinístico (o comportamento que foi caracterizado como "resposta" sempre ocorre) ou probabilístico (o comportamento pode ocorrer com uma certa probabilidade). Assim, há muitas maneiras possíveis nas quais o efeito está relacionado à causa. O importante é que a natureza da relação é mensurável e previsível.

Um aspecto final que apresentamos sobre a origem do pensamento sistêmico é o sinergismo, um conceito que foi reconhecido intuitivamente por séculos mas que somente alcançou algum grau de formalização e quantificação em anos recentes. Sinergia é o fenômeno que ocorre quando componentes de um sistema, trabalhando juntos, têm um efeito total maior que a soma de seus efeitos individuais quando trabalham independentemente.

Identificando e caracterizando as interações das influências entre componentes de um objeto, nós começamos a reconhecer que não podemos entender o comportamento do mesmo com precisão, simplesmente somando os comportamentos de seus componentes. O seu comportamento somente pode ser entendido pela identificação e caracterização do impacto dos seus componentes, uns sobre os outros, e da influência da rede formada por estes mesmos componentes no objeto.

A Natureza Hierárquica dos Sistemas

Considere os muitos modos pelos quais usamos o termo "sistema": sistema de produção, sistema de manipulação de material, sistema de controle de estoques, sistema de inspeção, sistema de informação, sistema computacional, sistema de avaliação de trabalho, e assim por diante. O exame cuidadoso desses itens revela que alguns são subconjuntos de outros. O termo "sistema" está sendo mal empregado em alguns ou todos os exemplos citados acima? Claro que não!

Para que um item particular seja apropriadamente considerado um sistema depende do contexto específico no qual está sendo considerado. Um determinado item pode ser um sistema em um

contexto e ser um componente de um sistema em outro contexto. A análise cuidadosa de qualquer componente de um sistema revelará que aquele componente é composto de vários elementos, os quais, coletivamente, constituem um sistema. Também é possível que um dado sistema definido para um propósito possa ser um componente de um agrupamento de entidades de um nível mais alto. Assim, podemos observar o nascimento do conceito de uma hierarquia relativa para identificação de sistemas.

REPRESENTAÇÃO DOS SISTEMAS

A humanidade sempre procurou modos de representar os diversos elementos que se encontram no seu ambiente através de ilustrações gráficas. Veremos agora como conceitos abstratos na área da engenharia de sistemas podem ser representados graficamente.

DIAGRAMA DE BLOCOS

O diagrama de blocos é um meio auxiliar comumente usado pelos engenheiros. O sistema é dito ser governado por um controle em malha aberta se não há realimentação da saída.

Um sistema de controle de malha fechada utiliza uma medida da saída, compara com a resposta desejada e então produz correções apropriadas que são implementadas pelo controlador.

Os sistemas, em geral, envolvem múltiplas entradas e saídas. Nesse caso, trata-se de sistemas de controle multivariáveis.

Para cristalizar algumas idéias, consideremos uma defesa antiaérea como um sistema, onde um dos "componentes" críticos é o ser humano. Este executa duas funções primárias no sistema:

I) Observa ou "sente" a entrada e a saída para determinar o erro;

II) Gera um sinal de controle que excita o processo com a finalidade de reduzir o erro a zero.

A Figura 1 mostra o papel do ser humano em um sistema de controle. Ele observa a saída, compara com o alvo e inicia a ação corretiva. Neste caso, o processo é o canhão ou o lançador de mísseis com suas características dinâmicas (inércia, atrito, etc.). A saída é a direção do tiro. A medida é a distância de passagem entre o projetil e o alvo. A entrada é

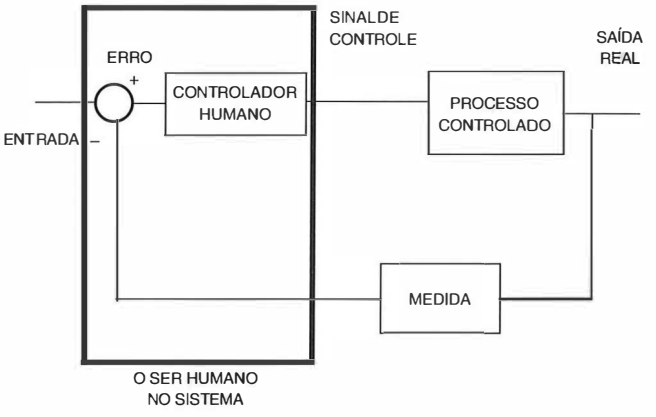


Figura 1

a posição futura do alvo, de forma a prover o tempo necessário para que o projetil alcance o alvo em movimento.

FUNÇÕES DE TRANSFERÊNCIA

Engenheiros que projetam sistemas de controle realimentados tais como sistemas de guiamento de mísseis, refinarias e plantas de processamento químico empregam rotineiramente o conceito de função de transferência. Embora um tratamento completo esteja além do escopo deste artigo, o conceito básico pode ser introduzido a um nível elementar.

Considere o sistema elementar mostrado na Figura 2. Considere que o componente é descrito por uma equação algébrica que relaciona a entrada e a saída. Assim,

$$S(t) = K\, e(t) \tag{1}$$

onde K é uma constante. Daí

$$K = S(t)/\, e(t) \tag{2}$$

A constante K pode ser vista como uma função de transferência do componente.

Infelizmente, os componentes, em geral, são descritos por equações diferenciais em vez de equações algébricas. Nesses casos, a Transformada de Laplace é usualmente empregada, convertendo a equação diferencial numa equação algébrica em s.

A função de transferência, H(s), pode então ser definida para um componente linear, como a relação da L{S(t)} por L{e(t)} e as condições iniciais são consideradas nulas para esta definição.

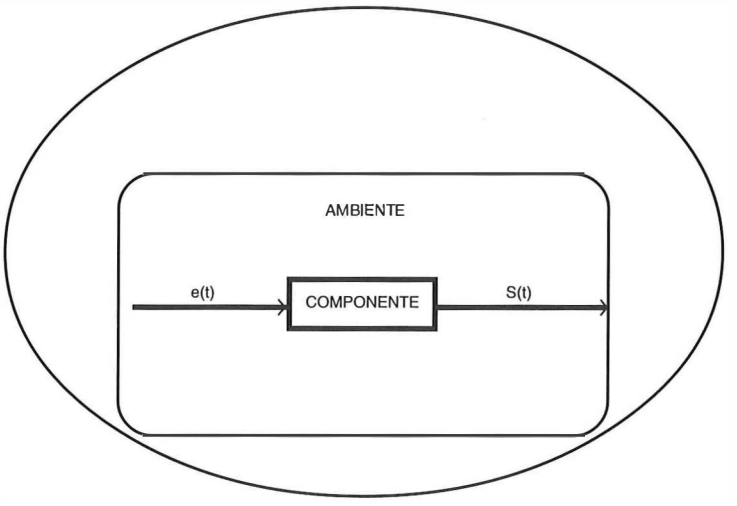


Figura 2

ESCOPO DO ESTUDO SISTÊMICO

O escopo de um estudo sistêmico para o guiamento de mísseis deve ir além do próprio sistema de guiamento de mísseis. Por exemplo, no caso de um sistema de guiamento superfície-ar para uso naval, ele é parte do sistema míssil. O sistema míssil é parte do sistema de defesa aérea para uma unidade da frota, que por sua vez é parte do sistema de defesa aérea de uma força-tarefa, e assim por diante. O escopo mínimo de um estudo do sistema de guiamento de mísseis é o estudo do emprego tático do sistema míssil. Por exemplo no caso de um míssil ar-ar, o estudo deve-se debruçar sobre a maneira pela qual a aeronave é direcionada ao alvo, o desempenho da aeronave, o dispositivo de sensoreamento da aeronave, as características do piloto, os demais armamentos transportados pela aeronave, o desempenho do alvo e, por último, o míssil e seu sistema de guiamento.

Um estudo que examine ou simule todas as partes do sistema global freqüentemente identificará possíveis simplificações para o sistema de guiamento do míssil.

A partir destas simplificações pode-se chegar a um sistema míssil que seja mais barato, mais confiável e capaz de um melhor desempenho tático que um míssil projetado sem um estudo dessa natureza.

Embora esses estudos possam parecer cair na categoria da pesquisa operacional, eles diferem daquela pesquisa operacional que é dedicada a identificar a necessidade ou o valor de uma arma, enquanto que os estudos sistêmicos determinam as necessidades de guiamento relacionadas ao problema tático ou operacional.

O SER HUMANO COMO ELEMENTO DO SISTEMA

O ser humano entra no emprego tático do sistema míssil em dois ambientes distintos: Ele tem a função de decisão no emprego do sistema e, em alguns momentos, pode ser um elemento ativo do sistema de guiamento. No primeiro aspecto, seu comportamento afetará a eficácia do sistema; e, no segundo, deve ser analisada a sua característica de resposta.

EFICÁCIA DO SISTEMA

Muitos sistemas "automáticos" empregam uma meia dúzia de operadores humanos. A função do ser humano é, principalmente, tomar as decisões necessárias ao emprego do sistema de armas. O operador pode nunca ver a aeronave-alvo que está atacando a sua posição, mas ele tem que decidir se o dispositivo de sensoreamento indicou um alvo ou se é um falso alarme. Tendo decidido que o sinal apresentado é de fato um alvo, ele tem que avaliar a ameaça e decidir que sistema de armas será empregado para abatê-lo. Quando a função de abater um alvo é designada para um sistema de armas específico, operadores humanos são novamente trazidos à cena para os propósitos

de detecção, aquisição, avaliação e disparo. Todas essas operações podem requerer que um ser humano seja empregado para tomar uma decisão.

A ausência de treinamento apropriado, inépcia, fadiga, cansaço, condições ambientais ou qualquer razão que resulte em falha do ser humano na execução apropriada de suas operações ou decisões afetarão a probabilidade que o sistema de armas obtenha sucesso na destruição do alvo. A eficácia do sistema de armas, então, é diretamente afetada pelas decisões humanas.

É inteiramente viável, com as técnicas disponíveis, substituir a decisão humana por uma decisão computadorizada. O computador é mais rápido, e se as entradas estiverem corretas, cometerá menos erros de julgamento que um agente de decisão humano. Este ainda continua necessário por ser mais versátil no caso de uma emergência. O computador é programado para solucionar um problema particular, ou determinados problemas particulares, e não pode ser rapidamente reprogramado.

Além disso, o homem é necessário para manter o computador em operação, e treinamento para esta função é, em geral, mais especializado e consome mais tempo que o necessário para o desempenho de funções operacionais relacionadas a sistemas de armas.

O único elemento que tornará necessário que o homem seja deslocado de suas funções de tomada de decisão é o tempo. Quando o tempo disponível torna-se muito exíguo para permitir o uso do operador humano como parte do sistema (p. ex: aumento da velocidade do alvo), então ele será substituído por algum dispositivo automatizado.

A capacidade de um homem tomar uma decisão correta, a partir de uma apresentação de informações operacionais, depende do projeto apropriado da apresentação e do ambiente em que ele está envolvido. A apresentação deve ser projetada de forma que a informação pertinente esteja disponível da maneira mais simples e fácil de se entender. Se for necessário o operador executar uma ou mais operações, então o caráter das operações deve ser simplificado e os procedimentos de manipulação dos equipamentos devem ser tais que eliminem a possibilidade de erro.

Deve ser dada uma particular atenção ao conforto dos operadores. Para se obter eficácia ótima quando um operador está em vigilância, é preciso que ele esteja atento durante todo o período. O conforto deve ser mantido a um grau em que o operador esteja relaxado, mas não a um grau em que o sono possa facilmente dominá-lo. O ambiente à volta dele deve contribuir para a manutenção da sua atenção e do seu desempenho em níveis ótimos. O equipamento não deve ser projetado de forma que os olhos do operador tenham que se adaptar a um *display* com iluminação fraca sob circunstâncias onde a adaptação possa ser facilmente perdida. O ambiente do operador freqüentemente é barulhento. A redução nos níveis de ruído permite que fique mais alerta durante todo o período de sua vigilância.

Os métodos de otimização da atenção do operador devem ser explorados; pode ser possível, por exemplo, que o operador responda a sinais audíveis, em algum momento, mais rapidamente que a sinais visíveis, ou que a combinação de som e luz obtenha a resposta ótima. Este campo de estudo das relações ótimas entre o operador e o equipamento é chamado engenharia de fatores humanos.

CARACTERÍSTICAS DA RESPOSTA HUMANA

O homem, algumas vezes, é um elemento ativo no sistema de guiamento do míssil e, como tal, é de interesse a sua resposta, tanto no estado estacionário como no transiente. O homem, genericamente falando, é um sistema não-linear. Contudo, para entradas de baixa freqüência e para operações dentro da sua capacidade de desempenho, sua saída é linear. As características entre os homens também diferem, mas há uma área de operação onde as características humanas são bastante similares. Esta é a área que o projetista de um sistema deve empregar.

Vamos apreciar um caso simples: Um homem é designado para acompanhar uma freqüência no estado estacionário, por exemplo, um feixe de luz movendo-se segundo uma onda senoidal em um plano. Se o mecanismo que ele está empregando para acompanhar o movimento do feixe de luz está dentro de suas capacidades físicas de manipulação, o homem comportar-se-á como um amplificador de potência linear a uma freqüência de um ou mais radianos por segundo. Quando aumenta-se a freqüência de forma que ele não possa mais acompanhar o movimento do feixe de luz, sua resposta torna-se completamente imprevisível. Se ruído de alta freqüência é superposto ao sinal fundamental, a banda passante da operação linear do indivíduo é reduzida. Isto implica que o ruído deve ser removido de qualquer apresentação de dados ao ser humano, e que este pode ser mais bem empregado como um amplificador em baixas freqüências.

A banda passante do indivíduo ainda pode ser reduzida pelo ambiente. Se, durante a operação, ele está sujeito ao ruído, calor, choque ou qualquer outra influência perturbadora, ocorre uma sensível redução na sua banda passante.

O FUTURO DOS SISTEMAS DE GUIAMENTO DE MÍSSEIS

Esta é uma era dos servomecanismos, da retirada do homem de operações nas quais ele sempre foi uma parte necessária. A forma de automatização, que existe nos sistemas de guiamento de mísseis, surgiu devido às restrições que o operador humano apresenta como dispositivo de sensoreamento e da sua incapacidade de acelerar o seu processo mental em sincronia com as máquinas que foram construídas para a guerra. A necessidade de automatização dos sistemas de armas surgiu da necessidade de sobrevivência. Quando uma arma é construída, outra será inventada para se opor aquela; quando o alcance no qual o inimigo pode nos destruir é aumentado, nosso alcance de retaliação necessariamente tem que aumentar, se quisermos sobreviver. À medida que as tecnologias de guerra são aperfeiçoadas, os sistemas de guiamento de mísseis devem ser cada vez mais automatizados, bem como todos os demais parâmetros do combate; enfrentar um novo tipo de ataque com um novo tipo de defesa; uma nova ameaça com uma nova retaliação e assim por diante.

Há uma escola de pensamento que acredita que os dias em que um ser humano pilote uma aeronave de combate de alta velocidade estão contados. Não há dúvida que, com as tecnologias

atuais, é possível enviar uma aeronave a um ponto determinado do globo, largar suas bombas e retornar sem a participação de um piloto na aeronave. Também sabemos que é possível interceptar aeronaves de ataque com interceptadores de longo alcance não-tripulados. Estes são os requisitos atuais para sistemas de guiamento de mísseis.

Concluindo, o aspecto prático é o seguinte: quando o ser humano torna-se o elo mais fraco em uma cadeia (ofensiva ou defensiva), por qualquer razão, ele deve ser substituído por um dispositivo automático especializado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 – DORF, R. *Modern Control Systems.* Addison-Wesley Publishing Co. 1967.

2 – TURNER, W. C., MIZE, J. H., CASE, K. E., NAZEMETZ, J. W. *Introduction to Industrial and Systems Engineering.* Prentice-hall Inc. 1993.

3 – LOCKE, A. S. *Guidance.* D. Van Nostrand Company Inc. 1955.

Quantas vezes buscamos Deus como nosso último e mais frágil recurso! Vamos a Ele porque não temos aonde ir. E então percebemos que as tempestades da vida nos lançaram não sobre as rochas, mas no porto tão desejado.

George MacDonald

Deus plantou o medo na alma tanto quanto plantou a esperança ou a coragem. O medo é uma espécie de sino ou gongo que soa e faz com que a mente acelere a vida e evite a aproximação do perigo. É o sinal para a alma recobrar as forças.

Henry Ward Beecher

APLICAÇÃO DAS REDES NEURAIS NA PREVISÃO DO COMPORTAMENTO DE MERCADOS FINANCEIROS

*Cláudia Rodel Bosaipo**

RESUMO

Este trabalho propõe a utilização das redes neurais na previsão do comportamento do mercado financeiro para a construção de uma estratégia de compra e venda de ações. A combinação dos indicativos fornecidos pela rede com o histórico de dados permite ao investidor tomar decisões com uma maior probabilidade de ser bem-sucedido.

INTRODUÇÃO

Na década de 1980, a área financeira sofreu uma revolução tecnológica que resultou no relacionamento dos mercados globais e intensificou a necessidade de uma perspectiva global de negociação.

A tendência em torno da globalização interconectando os mercados resultou da convergência de dois fatores principais: o avanço das telecomunicações e das tecnologias computacionais.

Métodos dinâmicos analíticos adaptativos, capazes de determinar padrões e relacionamentos nos dados globais do mercado, mostram-se importantes na identificação das oportunidades mercantis.

Uma metodologia alternativa beneficia-se do uso da tecnologia da inteligência artificial e várias outras ferramentas computacionais apropriadas. Através destas técnicas, relaciona-

* 1º Tenente, QCO Informática, MSc em Engenharia de Sistemas e Computação COPPE UFRJ, OM – 3º Centro de Telemática de Área – São Paulo.

mentos não-lineares e padrões complexos dos mercados globais podem ser identificados e quantificados. Isto é feito através da captura de informações que reflitam a dinâmica do mercado.

Existem aplicações interessantes de redes neurais encontradas na área de finanças, recursos humanos, marketing, médica, engenharia e muitas outras. Essa tecnologia de informação é baseada no funcionamento do cérebro humano. Ela propõe o uso de um enorme volume de dados disponíveis que, muitas vezes, são pouco ou mal utilizados, transformando-os em informação útil à tomada de decisões.

As Redes Neurais Artificiais são sistemas não-lineares que imitam o mecanismo de processamento do cérebro humano. A sua habilidade em formar mapeamentos não-lineares tem tornado as RNAs prósperas na modelagem e previsão de sistemas complexos.

Em geral, as observações do passado são utilizadas para produzir conhecimento a respeito da dinâmica do sistema representado pelo modelo de rede. Desta forma, pode-se prever o comportamento futuro do sistema modelado.

As Redes Neurais Artificiais utilizam o processamento distribuído, onde muitos elementos chamados neurônios ou unidades de processamento comunicam-se através de arestas exibindo um peso associado a cada uma destas. Cada uma dessas unidades efetua um certo número de operações e transmite seus resultados às unidades vizinhas. Estas operações consistem na multiplicação do valor de cada entrada pelo respectivo peso associado e na posterior soma para resultar em um valor. Geralmente este valor é passado através de uma função de ativação.

De forma similar ao ser humano, as Redes Neurais Artificiais são capazes de aprender comportamentos através de exposição de exemplos dos mesmos. Este processo é denominado treinamento da rede. A informação é armazenada na rede e é incorporada à mesma durante a fase de treinamento.

Se os dados podem ser representados numericamente, eles podem ser utilizados como entradas para as Redes Neurais Artificiais. Portanto, as informações técnicas e fundamentais relacionadas a um mercado específico podem ser incorporadas como entradas às redes neurais.

METODOLOGIA

Este trabalho propõe a utilização das redes neurais na previsão do comportamento do mercado financeiro para a construção de uma estratégia de compra e venda de ações. A combinação dos indicativos fornecidos pela rede com o histórico de dados permitirá ao investidor tomar decisões baseadas na probabilidade de ser bem-sucedido.

O conjunto de dados, que servirá de alimentação para as Redes Neurais Artificiais, deverá conter informações que forneçam condições de aprendizado. As variáveis que precisam ser determinadas são:

• Parâmetros de saída que permitam a previsão do comportamento do mercado acionário.

• Entradas que possuam um relacionamento direto com as saídas desejadas.

Como o objetivo do problema em questão é a previsão do comportamento do mercado acionário, primeiramente identificou-se as informações a serem previstas: as cotações de fechamento e volumes negociados.

Os parâmetros de entrada tradicionalmente utilizados para a previsão do mercado acionário são as cotações e os volumes negociados passados.

A Rede Neural Artificial é exposta aos dados de entrada, que podem conter ruídos, e utiliza o algoritmo de treinamento para criar um modelo que estará habilitado a determinar a saída atual utilizando os valores passados e os anteriormente previstos.

TERMINOLOGIA UTILIZADA

A seguir é apresentada a terminologia utilizada para os diversos parâmetros de entrada testados:

p(t) – cotação do dia corrente.

p(t-n) – cotação do dia (t-n).

v(t) – volume do dia corrente.

v(t-n) – volume do dia (t-n).

m(t) – média móvel das cotações dos dez dias anteriores ao dia corrente.

m(t-n) – média móvel das cotações de dez dias anteriores a (t-n).

As médias móveis são calculadas da seguinte forma:

$$m(t)= 0.75*m(t-1) + 0.25*p(t)$$

O objetivo da utilização das médias móveis das cotações é a filtragem das variações bruscas das mesmas. Desta forma, a curva que representa as cotações é suavizada.

p_{MAX} (t), p_{MIN} (t) - cotações máximas e mínimas normalizadas do dia t.

Tr(t) Tendência do Mercado.

A Tendência do Mercado é dada por:

1 (tendência de alta) – Se no fechamento do pregão havia compradores oferecendo mais do que o valor do último negócio efetuado.

0 (tendência de baixa) – Se no fechamento do pregão havia vendedores oferecendo a ação por um valor abaixo do último valor negociado.

½ (neutro) – Em caso contrário.

Descreveremos a seguir os diversos conjuntos de entradas utilizados.

Conjunto	Entradas	Total de Entradas	Saídas	Total de Saídas
1	p(t) p(t-1) ... p(t-10) v(t) v(t-1) ... v(t-10)	20	p(t+1) v(t+1)	2
2	p(t) p(t-1) ... p(t-10)	10	p(t+1)	1
3	m(t) m(t-1) ... m(t-10)	10	p(t+1)	1
4	p(t) p(t-1) ... p(t-10) v(t) v(t-1) ... v(t-10) $p_{MAX}(t)$, $p_{MIN}(t)$, Tr(t)	23	p(t+1) v(t+1)	2

Tabela 1: Conjuntos elaborados

Descreveremos agora as arquiteturas empregadas:
MD – Modelo.
TC – Total de Camadas.
CE – Total de elementos na camada de entrada.
CI – Total de elementos na camada intermediária.
CS – Total de elementos na camada de saída.
FACI – Função de ativação na camada intermediária.
FACS – Função de ativação na camada de saída.
AA – Algoritmo de aprendizagem.
TA – Taxa de aprendizado.
M – Momentum.

MD	TC	CE	CI	CS	FACI	FACS	AA	TA	M
Chenoweth	3	20	6	2	Hiperbólica	Linear	Backpropagation Randomized	0.3	0
Chung	3	10	8	1	Hiperbólica	Linear	Backpropagation	1.0	0.5
Chung	3	10	5	1	Hiperbólica	Logística	Batch Backpropagation	0.5	0.7
Shimshoni	3	23	8	2	Hiperbólica	Logística	Batch Backpropagation	0.5	0

Tabela 2: Modelos construídos

Primeiro modelo, construído por CHENOWETH *et all.*[26]
Segundo modelo, elaborado por CHUNG.[1]
Terceiro modelo, estudado por CHUNG.[1]
Quarto modelo, implementado por SHIMSHONI e INTRACTOR.[27]

A partir dos dados informativos das ações escolhidas (cotações de fechamento, volumes negociados, médias móveis, cotação máxima, cotação mínima, tendência do mercado etc.), constrói-se os conjuntos de entradas mencionados anteriormente.

Durante esta fase, os dados de teste foram aplicados às arquiteturas já treinadas de forma a validar as mesmas. O conjunto de teste consistiu de dados extraídos da Bolsa de Valores de São Paulo (BOVESPA) referentes à cada ação (Telebrás, Banco de Brasil, Petrobras e Bradesco) em um período de tempo diferente daquele usado durante o treinamento.

Cada um dos padrões de entrada foi fornecido à rede e o resultado obtido realimentando à entrada da mesma de modo a obter a previsão para um determinado número de dias no futuro. O mecanismo de realimentação (*multi-step*) se dá deslocando-se os valores mais antigos das cotações e volumes e inserindo-se os valores gerados pela rede no novo padrão de entrada corrente, ocupando a posição daqueles mais recentes.

O procedimento anterior é repetido até que dez valores sejam gerados pela rede. Desta forma, a partir de cada padrão individual, constrói-se a curva composta por dez valores previstos pela rede – uma previsão de cotações com dez dias em avanço.

A estratégia de mercado elaborada leva em consideração a curva traçada a partir do processo descrito anteriormente (uma janela temporal contendo dez dias de cotações).

A curva relaciona os dias com as cotações previstas, isto é, o eixo das ordenadas representa os dias, e o das abscissas representa as cotações previstas. A partir daí, é possível fazer uma estimativa de curto prazo e consegue-se visualizar a tendência do mercado (se o preço da ação sofre alta, baixa ou mantém-se constante). Dessa forma, a cada dia é fornecido um indicativo de compra, venda ou de não-operação.

ESTRATÉGIA DE NEGOCIAÇÃO

A estratégia de negociação utilizada parte do princípio de que o investidor só pode realizar uma operação de compra de ações se anteriormente foi realizada uma operação de venda. Isto significa que não é permitido efetuar operações parciais, isto é, ao comprar, o investidor utiliza todo o seu capital, ficando sem disponibilidade para realizar nova operação de compra. O mesmo raciocínio é aplicado no caso das operações de venda. Ao realizar uma operação de venda, o investidor negocia a totalidade de suas ações.

Os indicativos de compra e venda levam em consideração o perfil do investidor: conservador, moderado ou agressivo. Alguns testes foram efetuados de modo a garantir um número de negócios

razoável por ano aos três perfis de investidor. Os perfis foram, então, quantificados da seguinte forma:

a) O investidor agressivo é aquele que aceita correr o risco de negociar em troca de um lucro real no período (máximo de dez dias) de um por cento (1%).
b) O investidor moderado aceita o risco apenas se o investimento no período conferir um retorno real de ao menos dois por cento (2%).
c) O investidor conservador é aquele que concorda em aplicar em bolsas de valores se o retorno previsto, for de, ao menos, três por cento (3%) no período.

O lucro obtido a cada operação é calculado através da diferença entre o preço de compra e o de venda. O indicativo da operação a ser proposta é baseado na seguinte filosofia:

a) *Fornecimento do indicativo de compra (o usuário não tem as ações):*

A pergunta que estará buscando-se responder é a seguinte:

"Se eu comprar as ações hoje, consigo vendê-las em um período de dez dias com lucro compensador?"

Seja o dia corrente chamado dia "T". Verifica-se, no intervalo contendo os dez dias previstos pela rede, qual o dia em que o valor da ação é o máximo – este seria, por hipótese, o dia de venda chamado dia "D". Calcula-se o lucro através da diferença entre o valor da ação no dia corrente "T" e o valor desta no dia "D", retirando-se o custo de operação pago à corretora (taxa de corretagem).

Em seguida, calcula-se quanto o investidor obteria se, em vez de operar, mantivesse este capital em um fundo de renda fixa até o dia "D".

Os dois valores são então comparados, obtendo o lucro real (LR) da operação. Baseado neste valor, e de acordo com o perfil do investidor, é fornecido ou não o indicativo de compra.

b) *Fornecimento do indicativo de venda (o usuário detém as ações):*

A pergunta que estará buscando-se responder é a seguinte:

"Devo vender as ações hoje ou haverá um momento melhor nos próximos dez dias?"

Seja o dia corrente chamado "T". Verifica-se, a partir da curva traçada pela rede, qual o dia em que o valor da ação é máximo – seja este o dia "D". Em seguida, calcula-se quanto o investidor obteria caso vendesse a ação no dia corrente (descontada a taxa paga à corretora) e colocasse o capital em um fundo de renda fixa até o dia "D". Este valor é então comparado àquele obtido se a operação fosse efetuada no dia "D". Da diferença entre os dois valores obtém-se, então, o lucro real (LR). Baseado neste valor, e de acordo com a definição do perfil do investidor, é fornecido ou não o indicativo de venda.

RESULTADOS

Após o treinamento dos modelos de Redes Neurais Artificiais com os conjuntos de entradas previamente elaborados, houve o fornecimento dos conjuntos de entradas reais para a avaliação do desempenho do método.

Este procedimento foi realizado para todas as ações escolhidas levando-se em conta os diversos perfis de investidores (conservador, moderado e agressivo).

Foi feito um histórico de cada ação, onde, a cada mês, operações de compra ou venda eram realizadas baseadas na emissão dos indicativos fornecidos pelo sistema. De maneira a validar os resultados obtidos, estes foram comparados à rentabilidade da ação no período de Janeiro de 1997 a Dezembro de 1997.

Este trabalho compreendeu um estudo experimental detalhado de Redes Neurais aplicadas à previsão do comportamento do mercado acionário. Para fim de avaliação dos resultados obtidos, foram estudados os comportamentos de algumas *blue-chips* integrantes do índice BOVESPA.

Diversas arquiteturas, provenientes de extensa pesquisa literária, foram experimentadas e algumas modificações sobre essas arquiteturas foram introduzidas.

Testes comparativos exaustivos indicaram um melhor desempenho da rede com as seguintes características:

- Algoritmo de treinamento: *Backpropagation Randomized*.
- Uma camada intermediária contendo seis neurônios.
- Camada de entrada composta por vinte neurônios (cotações e volumes nos dez dias anteriores ao dia de análise).
- Camada de saída composta por dois neurônios (cotação e volume no dia posterior ao da análise).
- Função de ativação hiperbólica entre a camada de entrada e a intermediária.
- Função de ativação linear entre a camada intermediária e a de saída.
- *Learning rate*: 0,3.

CONCLUSÃO

• As redes obtiveram bons resultados financeiros. No entanto, uma análise mais detalhada mostra que, em geral, os bons resultados foram fruto do aproveitamento de fortes movimentos de alta ou baixa. A grande maioria dos movimentos de compra ou venda foi equivocada, resultando sempre em pequenos prejuízos ao investidor. Há que se considerar o fator psicológico dos investidores, potenciais usuários desta ferramenta computacional. Se a rede erra a maioria dos movimentos, o investidor perde a confiança nas previsões e não aceita correr o risco de um provável lucro futuro.

• Os movimentos equivocados propostos pela rede são, em nossa opinião, decorrentes do curto intervalo de tempo utilizado (dez dias). Este pequeno intervalo de observação não permite à rede uma percepção de movimentos consistentes de alta ou baixa de longa duração. Por exemplo, é possível pensar-se em um movimento consistente de alta composto, na maior parte do tempo, por pequenas quedas.

BIBLIOGRAFIA

1 – CHUNG, L., K., KIN, L. *An alternative choice of output in Neural Network for the generation of trading signals in a financial market,* URL: http://hkusub.hku.hk:800/kclam/report/paper.htm, 1996.

2 – GATELY, E. *Neural Networks for financial forecasting.* 1ª ed. EUA, John Wiley & Sons, Inc, 1996.

3 – KUTSURELIS, J. E. *Forecasting financial markets using neural networks: an analysis of methods and accuracy.* Ms.C dissertation, Naval Post Graduate School, Monterey, California, USA, 1998.

4 – CHENOWETH, T., OBRADOVIC, Z. *A Multi-Component Nonlinear Prediction System for the S&P 500 Index*, School of Electrical Engineering and Compute Science, Departament of Management and Systems, Department of Economics, Washington State University, Pullman, Washington, USA, 1996.

5 – PODDING, T. *Short-Term Forecasting of the USD/DM-Exchange Rate,* Universität of Bamberg, Germany, 1995.

6 – BLUME, L., EALSLEY D. *Evolution in market behavior. Journal of Economic Theory*, v. 58, p. 9-40, 1990.

7 – FLIGLEWSKY, S. *Market efficiency in a market with heterogeneous information. Journal of Political Economy*, v. 86, nº 4, p. 581-517, 1978.

8 – BRAY, M. *Learning, estimation, and the stability of rational expectations. Journal of Economic Theory*, v. 26, p. 318-339, 1982.

9 – BOSSAERTS, P. *Time series analysis of inefficient markets.* Technical report, California Institute of Technology, Pasadena, CA, 1994.

10 – LETTAU, M. *Risk-taking bias in a financial market with adaptative agents.* Technical report, Tilburg University, Tilburg, The Netherlands, 1993.

11 – ROUTLEDGE, B. R., *Artificial selection: Genetics algorithms and learning in a rational expectations model.* Technical report, University of British Columbia, Vancouver, British, Columbia, 1994.

12 – BELTRATI, A., MARGARITA, S. *Evolution of trading strategies among heterogeneous artificial economic agents.* Technical report, Instituto di Economia G. Prato, Universita di Torino, Torino, Italy, 1992.

13 – RIECK, C. *Evolutionary simulation of asset trading strategies.* In: *Many-Agent Simulation and Artificial Life*, IOS press, 1994.

14 – MARENGO, L., TORDJMAN, H. *Speculation, heterogeneity, and learning: A model of exchange rate dynamics.* Technical report WP-95-17, International Institute for Applied Systems Analysis, Viena, Áustria, 1995.

15 – GARLIAUSKAS, A., GARLIAUSKIENE, A. *Novel Neural Network in a Prediction for Foreign Exchange Rates.* Department os Neuroinformatics, Institute of Mathematics and Informatics, Vilnius, Lituânia, 1996.

16 – GENÇAY, R., LIU, T. *Nonlinear Modelling and Prediction with Feedforward and Recurrent Networks.* Department of Economics, University of Windsor, Canadá, 1996.

17 – ZHANG G. P., PATUWO B. E., HU M. Y. *Nonlinear time series forecasting with artificial neural networks.* Department of Decision Sciences, Georgia State University, Atlanta, EUA, 1999.

18 – McCULLOCH, W. S., PITTS, W. "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity." *Bulletin of mathematical biophisics*, v. 5, p. 115-133, 1943.

19 – ROSENBLATT, F. *The perceptron: A probabilist model for information storage and organization in the brain. Psychological Review*, v. 65, p. 386-408, 1958.

20 – MINSKY, M., PAPERT, S. *Perceptron: Na Introduction to Computation Geometry.* Cambridge, EUA: The MIT press, 1969.

21 – HINTON, G.,E., SEJNOWSKI, T. *Learning and relearning in Boltzmann Machines.* In D.E. Rumelhart & J.L. McClelland (eds), *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*, 1ª ed, chapter 7, p. 282-317, Cambridge, EUA: Bradford Books/MIT Press, 1984.

22 – ABU-MOSTAFA, Y. S., JACQUES, J. M. S. *Information Capacity of the Hopfield Model. IEEE Transactions on Information Theory*, v.31, nº 4, 461- 464 p., 1985.
23 – ALMEIDA, L. B. *Back-Propagation in Non-Feedforward Networks.* In: I. Aleksander (ed), *Neural Computing Architetures*, p. 74-91, Londres, UK: North Oxford Academic, 1989.
24 – HORNIK, K., STINCHCOMBE, M., WHITE, H. *Multilayer Feedforward Networks are Universal Approximators. Neural networks*, 2, 359-366, 1989.
25 – HECHT-NIELSEN, R. *Neurocomputing.* EUA: Addison-Wesley Publishing Co, 1990.
26 – CHENOWETH, T., OBRADOVIC, Z., LEE, S.S. *Embedding Technical Analysis into Neural Networks based in Trading Systems.* School of Electrical Engineering and Compute Science, Departament of Management and Systems, Department of Economics, Washington State University, Pullman, Washington, EUA, 1996.
27 – SHIMSHONI, Y., INTRATOR, N. *A framework for combining multiple ANN experts in financial forecasting.* School of Mathematical Sciences, Tel Avi University, Tel Avi, Israel, 1996.

Viver é nascer lentamente.

Antoine de Saint-Exupéry

A vida é em parte aquilo que fazemos dela,
em parte aquilo que é feito pelos amigos que escolhemos.

Tehyi Hseih

Pensar é fácil. Agir é difícil.
Agir segundo os próprios pensamentos é mais difícil ainda.

Goethe

Saber ouvir constitui uma forma de influência tão poderosa quanto saber falar.

Provérbio chinês

Deus nos dá as nozes, mas não as quebra.

Provérbio alemão

Resumos de Dissertações de Mestrado

ANÁLISE CRÍTICA DA PROPAGAÇÃO EM MICROCÉLULAS

Autor: *Maurício Henrique Costa Dias – Cap QEM*
Orientador: *Mauro Soares de Assis*
(Tese defendida no IME, em 9 de janeiro de 1998)

O grande aumento da demanda por serviços de comunicações móveis nos últimos anos forçou à adoção de técnicas de otimização da utilização do espectro, dentre as quais se destaca a adoção de estruturas microcelulares. A expansão dos atuais sistemas celulares convencionais, por exemplo, se dá através da divisão das macrocélulas em unidades com menor raio de alcance. Por outro lado, os novos sistemas, como o PCS (*Personal Communications Systems*), foram concebidos para atender a uma alta demanda, apresentando estruturação inicial essencialmente microcelular. As características típicas associadas a uma microcélula incluem o emprego de bases cujas antenas sejam posicionadas à altura dos postes de luz (6 a 10m) e raios de alcance entre 100 e 1.000m. As dimensões reduzidas e a faixa de freqüências de operação (0,8 a 2,0 GHz) são fatores que induzem um tratamento quase determinístico da propagação neste tipo de ambiente, otimizando o desenvolvimento de ferramentas adequadas para a determinação de cobertura: os modelos de predição. O trabalho desenvolvido nesta tese, portanto, procurou apresentar uma visão global da propagação em microcélulas e dos aspectos ambientais que a influenciam. Esta análise inclui: a caracterização genérica do comportamento do sinal propagado e dos diferentes tipos de microcélulas; a descrição das principais teorias que explicam os mecanismos de propagação; a apresentação crítica dos modelos de predição mais adequados; e a discussão dos aspectos ambientais mais relevantes que afetam a variabilidade do sinal. Além desta análise macro do problema em questão, o trabalho apresenta algumas discussões originais, como a caracterização quantitativa do grau de urbanização de uma microcélula urbana e a obtenção de um modelo empírico para determinação da perda adicional provocada pela vegetação de um bosque urbano típico de uma cidade tropical.

CONTROLE ROBUSTO APLICADO NO MODELO ACOPLADO DE UM MÍSSIL SOLO-AR E ANÁLISE DE DESEMPENHO DO SISTEMA DE GUIAMENTO

Autor: *José Cerdeira Gonzalez*
Orientador: *Geraldo Magela Pinheiro Gomes – Cel R/1*
(Tese defendida no IME, em 12 de janeiro de 1998)

O trabalho desenvolvido na referida tese apresenta: I) conceitos básicos de teoria de vôo em mísseis; II) um resumo teórico sobre os métodos, fases e leis de guiamento; e III) a utilização de técnicas de controle clássico e moderno no modelo de um míssil a fim de estabilizá-lo em seu vôo. Foi adotado um míssil solo-ar, do tipo *Tail Controller* (ou Controle na Cauda), utilizando a navegação proporcional (NP) como lei de guiamento.

Os objetivos principais desta tese foram a união do subsistema de guiagem ao subsistema de governo do míssil e a utilização de técnicas de controle a fim de estabilizá-lo durante sua trajetória, a partir de determinados critérios de projeto. Desta forma, obteve-se um modelo completo do míssil, a partir do qual foram feitas diversas simulações para a análise do desempenho de um piloto automático clássico e do sistema de guiamento, onde se verificou que a precisão do míssil é sensível, basicamente, aos seguintes fatores: I) razão de navegação; II) tempo de resposta do piloto automático; III) dinâmica do míssil; e IV) características da trajetória do alvo.

O problema do seguidor (*tracker*) foi aplicado na substituição do piloto automático clássico por um piloto automático moderno e de melhor desempenho. Foi utilizado um filtro de Kalman com uma estrutura LQG na estimação dos estados da planta, uma vez que a realimentação direta de alguns dos seus estados era inviável. Entretanto, foi constatado que a utilização desta estrutura, na substituição do piloto automático clássico no modelo não-linear do míssil, não permitia a este operar em todo o intervalo admissível de variação do ângulo de ataque α devido à sua baixa robustez, sendo necessário, portanto, a aplicação de um banco de conjuntos controladores com Filtros de Kalman associados, cada qual sintonizado num valor de α dentro do intervalo de variação.

A fim de se aumentar a robustez do Piloto Automático Moderno, foi feita a aplicação da síntese de controle robusto PRCBI na obtenção de um Piloto Automático Híbrido, que apresentasse um desempenho superior ao Piloto Automático Clássico, e uma robustez superior à do Piloto Automático Moderno, em relação aos parâmetros considerados sensíveis.

APLICAÇÃO EM TEMPO REAL DE CONTROLE ROBUSTO PARAMÉTRICO EM UM LEVITADOR MAGNÉTICO

Autor: *Ivan dos Santos Ferreira Mendes – Cap QEM*
Orientador: *Geraldo Magela Pinheiro Gomes – Cel R/1*
(Tese defendida no IME, em 12 de janeiro de 1998)

Esta tese trata da implementação, pela primeira vez em uma planta real, de um controlador parametricamente robusto, baseado na síntese denominada *Parameter Robust Control by Bayesian Identification* (PRCBI). As aplicações da síntese de Controle Robusto PRCBI até o momento foram dirigidas para modelos matemáticos de plantas reais. Este trabalho trata de uma aplicação em tempo real.

A planta usada neste trabalho é de um Levitador Magnético com controle digital, implementado, inicialmente, utilizando uma técnica de controle clássico, mais especificamente um compensador do tipo em atraso para estabilizar o sistema.

O projeto já existente foi totalmente calcado em técnica de compensação no domínio freqüencial. Para se chegar a usar a síntese PRCBI, foi necessário mudar a abordagem do problema, passando a se trabalhar em espaço de estados com a planta discreta e realimentação de estados estimados completa. Para estimação dos estados foi usado um Filtro de Kalman do tipo estimador corrente. O vetor de ganhos do controlador, para fins de comparação de resultados, foi obtido, primeiramente, pela teoria de controle ótimo LQ, e posteriormente calculado pela minimização do critério utilizado pela síntese PRCBI.

Os resultados são apresentados em gráficos de simulação temporal e em medidas experimentais obtidas diretamente da planta.

SIMULAÇÃO NUMÉRICA PARA CAMADA LIMITE TURBULENTA COMPRESSÍVEL COM MODELO ALGÉBRICO E $\kappa - \varepsilon$

Autor: *Wagner Machado Brasil*
Orientador: *Su Jian, D. Sc.*
(Tese defendida no IME, em 16 de janeiro de 1998)

É desenvolvida a simulação de camada limite turbulenta compressível bidimensional em regime permanente sobre placa plana através do modelo de turbulência algébrico de Cebeci-Smith e do modelo de duas equações $\kappa - \varepsilon$ de Chien.

As equações de governo para o escoamento médio são obtidas através da média de Favre. Na análise da ordem de grandeza dos termos das equações de governo para simplificação de camada limite são considerados termos com média da flutuação da velocidade de Favre, que geralmente são desprezados, bem como na equação de transporte para a energia cinética turbulenta, κ. A modelagem destas flutuações de velocidade são realizadas de acordo com o equacionamento proposto por Ristorcelli (1995).

As equações diferenciais parciais de interesse são resolvidas através do método de diferenças finitas, com esquema totalmente implícito e malha adaptativa, num processo de marcha ao longo do escoamento livre.

Simulou-se escoamento com gradiente de pressão nulo, favorável e adverso. Os resultados computacionais foram comparados com dados experimentais disponíveis na literatura. Pela comparação entre os dois modelos de turbulência, conclui-se que os dois modelos de turbulência predizem o escoamento com gradiente de pressão nulo; o modelo de Chien apresenta melhores resultados para gradiente de pressão favorável e o de Cebeci-Smith para gradiente de pressão adverso.

CONTROLE ROBUSTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA COMBINANDO IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS E ALGORITMOS GENÉTICOS

Autora: *Flávia Lages Tito*
Orientador: *Glauco Nery Taranto – PhD – COPPE*
(Tese defendida no IME, em 21 de janeiro de 1998)

Esta tese tem por objetivo estabelecer uma nova formulação para projetos de controladores de Sistemas Elétricos de Potência, utilizando para isso técnicas heurísticas de otimização, algoritmos genéticos e uma síntese de controle robusto a variações paramétricas denominada de PRCBI – *Parameter Robust Control by Bayesian Identification.*

Para o projeto dos controladores deverá ser combinado um critério, que considere tanto a robustez a variações do ponto de operação quanto o desempenho temporal do sistema. Este critério deverá atender satisfatoriamente ao projeto de forma a ponderar corretamente os custos de robustez e de desempenho envolvidos.

A validação do método envolve dois modelos de sistemas elétricos. O primeiro sistema consiste de um gerador síncrono conectado a uma barra infinita através de uma linha de transmissão longa,

projetando-se para o mesmo um controlador inserido na malha de realimentação de saída do sistema. O segundo modelo compõe-se de três áreas de geração e seis geradores síncronos. Para este sistema serão projetados dois controladores descentralizados, de modo que mantenham os modos de oscilação entre áreas dentro de limites aceitáveis para a operação dos sistemas elétricos.

ALGORITMOS DE SOLUÇÃO TRANSIENTE PARA A ANÁLISE TRANSIENTE DE MODELOS DE SISTEMAS DE COMPUTAÇÃO E COMUNICAÇÃO

Autor: *João Abdalla Ney da Silva – Cap QEM*
Orientadora: *Rosa Maria Leão Rust Carmo, Drª*
Co-orientador: *Paulo Roberto de Lira Gondim, TC QEM – M.Sc.*
(Tese defendida no IME, em 23 de janeiro de 1998)

Sistemas de computação e comunicação devem atender a requisitos de desempenho e confiabilidade. A modelagem e análise destes sistemas, usando modelos markovianos, constitui uma das formas mais utilizadas para avaliar o comportamento destes sistemas. A análise transiente dos modelos é importante pois permite a obtenção de medidas para um intervalo de tempo finito. A uniformização constitui o método mais comumente usado para a realização da análise transiente. Neste trabalho foram implementados dois métodos de aproximação eficientes recentemente propostos para a obtenção de medidas transientes.

Foi mostrado que estes métodos são capazes de fornecer resultados de precisão satisfatória a custos inferiores ao do método da uniformização. Para ilustrar o uso dos métodos, foram realizadas medidas em modelos de sistemas reais relevantes da área de redes de computadores.

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE CANAIS RADIOMÓVEIS

Autor: *Alberto Gaspar Guimarães – Cap QEM*
Orientador: *Ernesto Leite Pinto*
(Tese defendida no IME, em 26 de janeiro de 1997)

É realizado um estudo sobre modelos e técnicas de simulação de canais móveis, no qual desenvolve-se uma análise conjunta das principais vertentes relacionadas a este assunto. São implementadas algumas propostas, com o objetivo de avaliar e comparar seus desempenhos segundo critérios

relacionados à precisão (reprodução das propriedades estatísticas do modelo) e esforço computacional. Por último, é feito um desenvolvimento matemático que estabelece, a partir de um "modelo físico" de caracterização do canal, condições em que a resposta deste apresenta função densidade de probabilidade de 1ª ordem gaussiana, prevista pelo modelo GWSS-US. O resultado desta análise permite estabelecer critérios para a escolha do modelo a ser aplicado a sistemas de transmissão específicos.

DESEMPENHO DE ALGORITMOS DE IDENTIFICAÇÃO CEGA DE CANAL BASEADOS EM SUPERAMOSTRAGEM

Autor: *Clayton Jones Alves da Silva – Cap QEM*
Orientador: *José Carlos Araújo dos Santos*
(Tese defendida no IME, em 26 de janeiro de 1998)

A recuperação dos dados transmitidos em um sistema de comunicações digitais requer, muitas vezes, a identificação da resposta impulsiva do canal. Recentemente, as técnicas de identificação cega de canal com resposta impulsiva finita, em particular as técnicas baseadas na superamostragem do sinal recebido, têm merecido considerável atenção em comunicações e processamento de sinais.

Várias formas de implementar a identificação cega do canal através da superamostragem têm sido propostas. Na tese, discute-se detalhadamente a formulação de algumas destas novas técnicas, com uma abordagem unificada. O desempenho delas é avaliado através de simulações computacionais que testam, especialmente, a sensibilidade ao ruído, a robustez ao erro na estimativa dos parâmetros, a taxa de convergência e a complexidade computacional.

Avalia-se, também, a capacidade das técnicas produzirem, recursivamente, as estimativas da resposta do canal. Baseando-se na estimação recursiva dos autovetores das matrizes associadas às amostras recebidas, são propostas novas versões para alguns dos métodos. O desempenho destas versões também é testado através de simulações computacionais.

TEXTURA DA TRANSFORMAÇÃO DE FASE CFC-CCC

Autora: *Andréa Machado Lopes*
Orientador: *Carlos Sergio da Costa Viana*
(Tese defendida no IME, em 27 de janeiro de 1998)

Um aço, quando é deformado na região da austenita, desenvolve uma textura que influencia a textura da fase produto (ferrita, martensita ou bainita) se a transformação de fase ocorre antes de sua recristalização. Esta herança de textura é definida por uma relação cristalográfica existente entre as duas fases. A transformação influencia diretamente a anisotropia final do material; por isso, o conhecimento do tipo exato da textura da austenita, que é herdada pela textura da fase que dela resulta, é de considerável importância para a modelagem do processo de laminação.

O presente trabalho utiliza um modelo, recentemente proposto na literatura, para simular as texturas da fase produto. As principais suposições do modelo são: I) a relação de orientação empregada foi a de Kurdjumov-Sachs; II) a nucleação da fase produto ocorre a partir de sistemas de deslizamento ativos da fase matriz; III) a seleção de variantes se baseia na tensão residual que permanece no material, após este sofrer deformação plástica. Os materiais cúbicos de face centrada, cobre, latão e alumínio, laminados à temperatura ambiente, foram utilizados para modelar a textura de laminação a quente da austenita. As texturas obtidas para o produto, pelo uso do modelo, foram comparadas a texturas reais obtidas por têmpera, após deformação, em aços microligados ferríticos e bainíticos e numa liga Fe-30% Ni.

Os resultados obtidos mostram concordância satisfatória, para algumas das condições simuladas.

UTILIZAÇÃO DAS RADIAÇÕES IONIZANTES NA PRESERVAÇÃO E NO CONTROLE DE QUALIDADE DE POLPA DE ACEROLA

Autor: *Carlos Alberto Rodrigues dos Santos*
(Tese defendida no IME, em 30 de janeiro de 1998)

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a possibilidade da utilização das radiações ionizantes na preservação da polpa de acerola resfriada (0°C e 10°C). A polpa de fruta foi obtida pasteurizada e acondicionada em sacos transparentes de polietileno de 100g.

A acerola foi escolhida por ser uma fruta tipicamente tropical, com um consumo crescente e por conter grande quantidade de vitamina C (ácido ascórbico). O material foi irradiado em um irradiador BPCDI – *Brookhavem* pertencente ao Instituto de Pesquisa do Exército, contendo uma fonte de Césio-137 com taxa de dose de 2,1kGy/h.

O trabalho foi realizado em dois grupos de amostras. O primeiro, constituído por quarenta amostras de 100g polpa congelada, foi irradiado com doses de 3kGy e 5kGy. No segundo, constituído por 54 amostras de polpa resfriada, foi irradiado com doses de 3kGy, 5kGy e 37kGy. Foram realizadas

análises microbiológicas (*Salmonella*, fungos filamentosos e leveduras, coliformes fecais e coliformes totais), análises químicas (vitamina C, Teor de Brix, acidez total, pH, carotenos totais) e análises sensoriais. Amostras de polpa de acerola congelada, irradiadas com doses de 3kGy e 5kGy, permaneceram próprias para o consumo durante um tempo superior ao da validade do produto não irradiado. As amostras resfriadas, expostas a doses de 5kGy e 37kGy, apresentaram desempenho semelhante.

A incorporação da tecnologia de irradiação na industrialização de polpa de acerola é uma possibilidade concreta. Entretanto, estudos complementares são necessários, bem como uma avaliação custo-benefício da implantação do processo e da aceitação pública do produto irradiado.

RELAÇÃO ENTRE MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS NO POLIPROPILENO DE ULTRA-ALTO PESO MOLECULAR

Autor: *André Luiz Pinto – Cap QEM*
Orientador: *Clelio Thaumaturgo*
(Tese defendida no IME, em 30 de janeiro de 1998)

O polipropileno de ultra-alto peso molecular (UHMW-PP) é uma fibra termoplástica recentemente desenvolvida que apresenta alto grau de cristalinidade e orientação, o que se traduz em excelentes propriedades mecânicas quando comparada com outras fibras poliméricas. Este material tem sido prensado a quente, dando origem a placas rígidas à temperatura ambiente. Seu uso em aplicações balísticas tem sido proposto por seus fabricantes como uma alternativa de baixo custo e propriedades semelhantes aos seus concorrentes.

Neste trabalho foram produzidas placas a partir de mantas deste polímero por prensagem a quente. Os parâmetros variados nesta prensagem foram temperatura e forma de resfriamento. Buscou-se, então, caracterizar as microestruturas obtidas através de calorimetria de varredura diferencial, ensaio dinâmico-mecânico, difração de raios X em alto ângulo e espectroscopia de aniquilamento de pósitrons. Foi possível, assim, determinar a fração de volume livre presente, a cristalinidade, o tamano dos cristalitos e as temperaturas de transição deste material. As propriedades mecânicas foram ainda analisadas por ensaio de tração e ensaio Charpy, além de ter-se realizado alguns ensaios balísticos iniciais. As superfícies de fratura, obtidas por meio destes testes, foram então analisadas através de microscopia eletrônica de varredura.

As melhores condições de prensagem obtidas foram a prensagem a quente a 150°C por 30 minutos, sob pressão de 3MPa, seguida de resfriamento lento sob pressão. As temperaturas de transição encontradas no campo entre –100°C até 220°C foram avaliadas em 5°C, 80°C e 180°C. A primeira foi atribuída à transição vítrea principal, enquanto que a segunda a uma transição de desordem cristalina. O pico de fusão foi alcançado em 180°C, mas múltiplos picos foram observados, aos quais atribui-se a ocorrência concomitante de fusão e recristalização. A cristalinidade foi estimada em 65%, e a fração de volume livre observada, de 11,5%.

O ensaio de tensão revelou um limite de resistência de 120MPa e um módulo de elasticidade de 4GPa. A resistência ao impacto estimada pelo ensaio Charpy foi de 400kJ/m². Não foram observados sinais de fratura frágil a –40°C ou a –145°C, o que leva à suposição de que não existe transição dúctil-frágil associada à temperatura de transição vítrea. As placas mostraram-se efetivas contra impacto de munição 9mm, exibindo como seqüência de modos de falha: cisalhamento, tensão e delaminação.

Faça agora o seu pedido de assinatura e receba em seu endereço os três números anuais da *Revista Militar de Ciência e Tecnologia* para 2001

Valor da Assinatura Anual: R$ 40,00

Envie vale postal ou cheque dos correios, nominal à ***"Biblioteca do Exército"*** para efetuar sua assinatura.

DADOS CADASTRAIS

Nome			Profissão
Militar ☐Ativa ☐Reserva	OM	Posto/Grad	Prec-CP
Endereço Rua		Nº	Complemento
Cidade	UF	CEP	
Tel	Fax	E-mail	

BIBLIOTECA DO EXÉRCITO
Palácio Duque de Caxias – Praça Duque de Caxias, 25 – Ala Marcílio Dias – 3º andar
CEP 20221-260 – Rio de Janeiro-RJ
Assinaturas: 0800 238365 (grátis) ou (0XX-21) 519-5715 Fax: (0XX-21) 519-5569
Home Page: http://www.bibliex.eb.br — E-mail: bibliex@ism.com.br

UM POUCO DA HISTÓRIA DOS EXPLOSIVOS ATRAVÉS DE SEUS DESCOBRIDORES

*Ubirajara da Silva Valença**

APRESENTAÇÃO

Neste artigo iremos abordar um pouco da vida de alguns dos principais descobridores de explosivos. Um resumo da biografia desses homens destemidos dará uma idéia de quão arrojadas foram as suas descobertas em épocas onde a tecnologia ainda nem engatinhava. O que predominava era a alquimia; por isso, muitos perderam partes de seus corpos nos experimentos que realizaram, mas seus nomes ficarão, para sempre, na galeria daqueles que buscaram o progresso; sim, o progresso, porque os explosivos não são feitos só para constituírem artefatos bélicos, destinados à destruição. A construção de estradas e hidrelétricas, a mineração, a pesquisa petrolífera, a ida do homem ao espaço, a colocação em órbita de satélites para diversos fins, os esportes da caça e do tiro são algumas das atividades que se beneficiam com esse tipo de material.

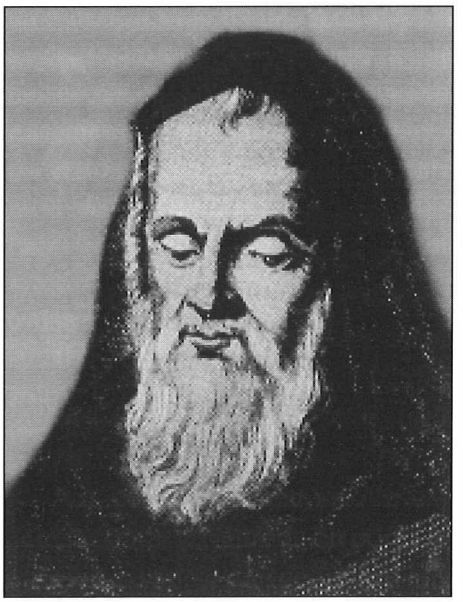
Divulgando os homens que construíram a história dos explosivos, acreditamos estar prestando justa homenagem à memória desses "cientistas", reacendendo, aos já iniciados na química dos explosivos, a lembrança das obras daqueles descobridores; para os iniciados de agora, damos-lhes a oportunidade de conhecerem o que a dedicação, o empenho, a crença na busca de um objetivo podem realizar.

Todos os que serão citados nesses artigos nasceram no século XIX, ou mesmo antes, havendo alguns, como Roger Bacon, que nasceu em 1214, e Berthelot, nascido em 1748; muito do que descobriram, também, datam daquela época, mesmo assim suas descobertas ainda estão vivas e seguem acompanhando o avanço tecnológico dos dias atuais, perfeitamente integradas aos explosivos modernos e nesse mister permanecerão ainda por longo tempo.

* General Engenheiro Militar.

BIOGRAFIA DOS DESCOBRIDORES DE EXPLOSIVOS

Roger Bacon



O monge franciscano Roger Bacon nasceu em 1214, em Ilchester, Inglaterra, tendo falecido em 1284, em Oxford. Antes de vestir o hábito de São Francisco, estudou Teologia e Filosofia em Oxford e em Paris. Foi professor em Oxford e, devido à amplitude e variedade de seus conhecimentos, ganhou o título de *Doctor Mirabilis* ou Doutor Maravilhoso. Escreveu uma famosa obra intitulada *Opus Majus*, que foi, talvez, também a de maior valor científico posta em evidência durante a Idade Média, na qual reuniu seus mais importantes trabalhos sobre Física, Filosofia e outras disciplinas. Foi nela que fez menção ao uso do salitre (nitrato de potássio) como ingrediente de certas misturas incendiárias e explosivas.

A Bacon é atribuído o tratado Sobre a Nulidade da Magia, no qual descreve algumas composições explosivas e incendiárias à base de *pedra de tagus* (salitre), carvão de madeira e enxofre, assim como uma mistura na qual as mesmas substâncias participam, respectivamente, nas proporções 6:5:5. Esta última fórmula é, indiscutivelmente, de uma pólvora negra, embora de tipo inadequado para aplicação como propelente e não difere muito de certas composições ainda hoje empregadas em pirotecnia.

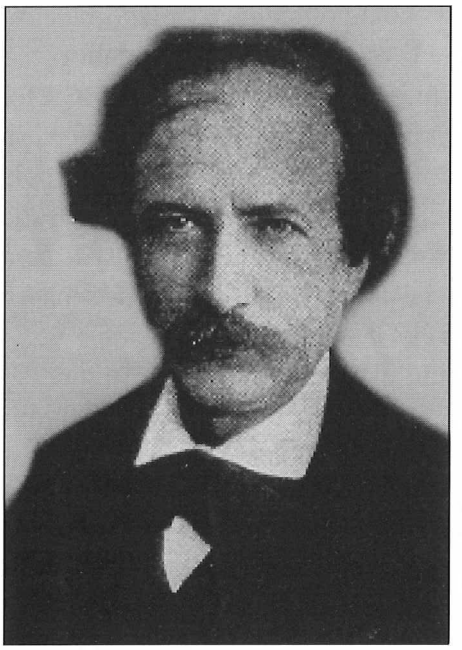
Devido a esses seus trabalhos e incessantes estudos a respeito dos empregos das misturas explosivas, formuladas a partir do salitre, do carvão e do enxofre, Bacon foi proclamado como inventor da pólvora na Europa. Isso levantou muitas controvérsias, principalmente devido à falta de comunicação e de trocas de informações entre os pesquisadores de então. Por isso, muitos são considerados, além de Roger Bacon, como pais da pólvora negra, tais como o Frade Constantino Auclitzen, ou o mestre-armeiro Abraham de Memmingen, ou mesmo o Frade e alquimista Berthold Schwartz, a quem também se atribui a descoberta do canhão.

O que se concorda, porém, hoje em dia, é que é impossível ter um juízo estável e conclusivo a respeito do verdadeiro inventor da pólvora negra. Não cabe atribuir-se a invenção a uma pessoa em particular, porém, o que é mais provável é que ela haja surgido quase simultaneamente em mais de um país, em sua forma inicial rudimentar e que foi sendo aperfeiçoada ao cabo de um melhoramento progressivo.

É inquestionável, no entanto, que Bacon desempenhou notável papel na ciência e nas letras em sua época. Deploravelmente, contudo, a novidade de suas doutrinas foi causa de inimizades e ciúmes, especialmente entre os monges de sua própria congregação. Por isso, sofreu perseguições

injustas, encobertas pela acusação de ser praticante de magia e feitiçaria. Tão mesquinha campanha culminou com a condenação de Bacon à prisão perpétua, ditada por uma assembléia, em Paris, presidida pelo Prior-geral dos franciscanos. Depois de dez anos de prisão, obteve a liberdade, tendo vivido o resto de sua vida em Oxford. Vários de seus trabalhos, escritos sobre Alquimia e Química, encontram-se na obra *Thesaurus Chimicus*, impressa em Frankfurt, em 1603.

Pedro Eugênio Marcelino Berthelot

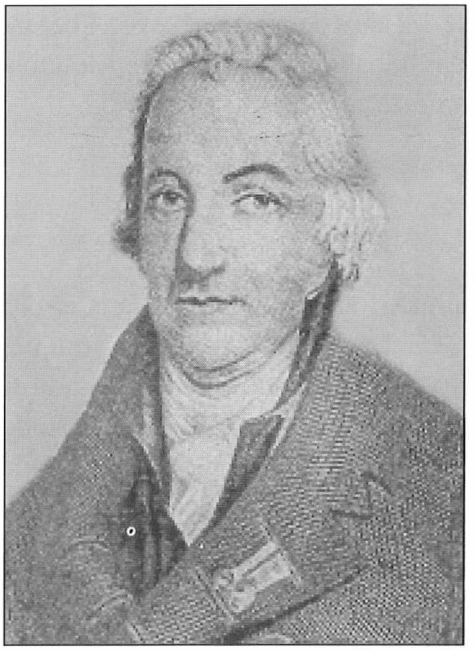


Esse eminente químico francês nasceu em Paris, em 25 de outubro de 1827. Ganhou o prêmio de honra em um concurso geral de Filosofia, tendo, no entanto, trocado as letras pela ciência e se consagrado, em especial, ao estudo da Química. A partir de 1851 foi membro do Colégio da França na condição de professor de Química. Doutorou-se em Ciências, em 1854, tendo desenvolvido tese importante sobre Combinações de Glicerina com Ácidos e Reprodução de Compostos Graxos Neutros Naturais. Foi, a partir de 1863, membro da Academia de Medicina, seção de Física e Química; em 1873, presidiu o Comitê Científico de Defesa, aplicando, nessa época, seus vastos conhecimentos na fabricação de canhões, nitroglicerina e dinamites. Mais tarde, chegou a ser ministro de Assuntos Estrangeiros e presidente da Comissão de Pólvoras e Explosivos.

Sua prodigiosa atividade permitiu-lhe efetuar um surpreendente número de trabalhos experimentais e de pesquisa sobre Estática e Dinâmica Química, Termoquímica, Explosivos etc. Com relação a este último aspecto foi considerado como fundador da moderna ciência dos explosivos, devendo-se-lhe um estudo minucioso a respeito da combustão das pólvoras, sobre cujo fenômeno formulou uma teoria que ainda hoje pode ser considerada como a mais racional e completa nesse mister. Juntamente com Vieille, foi o primeiro a medir a velocidade de detonação dos explosivos, trabalhando, inicialmente, com explosivos gasosos e mais tarde com explosivos líquidos e sólidos; o aparelho usado era o Cronógrafo de Boulengé. Sintetizou o etileno e o benzeno a partir de seus elementos. Inventou a Bomba Calorimétrica e um tipo de calorímetro que leva o seu nome; estabeleceu o "princípio do trabalho máximo" e deduziu interessantes conclusões (chamados de teoremas) do "princípio dos estados inicial e final". Pode ser considerado como uma das mais brilhantes figuras científicas do século XIX.

Morreu em 1907, e seus restos mortais descansam no Panteon de Paris, destinado, como se sabe, aos grandes nomes da França.

Cláudio Luís Berthollet



Esse ilustre químico e físico francês nasceu em Talloire, nas cercanias de Annecy (Saboya), em 9 de dezembro de 1748. Estudou na Universidade de Jurin, onde se graduou como doutor em Medicina, em 1768, e, quatro anos depois, mudou-se para Paris com o propósito de ampliar seus estudos. Em 1780, foi nomeado membro da antiga Academia de Ciências e, em 1794, professor de Química da Escola Normal e da Escola Politécnica. Colaborou com Lavoisier, Morveau e Fourcroy na criação e elaboração da nomenclatura Química Científica. Junto com Monge foi encarregado de dirigir a fabricação da pólvora necessária ao abastecimento das frentes de combate mantidas pela França, naquela época. Acompanhou Napoleão em sua expedição ao Egito e foi distinguido, naquela ocasião, com o título de grande oficial da Legião de Honra e de senador titular de Montpellier (1805).

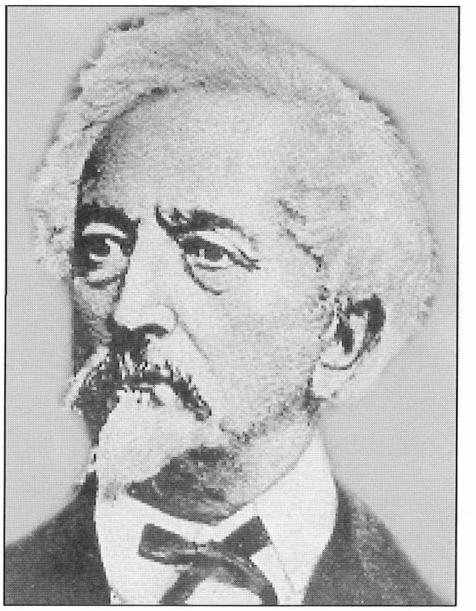
Berthollet contribuiu, indiscutivelmente, para o enriquecimento da ciência de seu tempo. Descobriu o ácido clórico, o clorato de potássio, a prata fulminante (fulminato de prata) e recomendou substituir o nitrato de potássio pelo clorato em certas pólvoras, inventando assim as "pólvoras cloratadas". Descobriu, também, que a amônia era um composto de nitrogênio e que em toda substância animal figurava o nitrogênio como um de seus principais constituintes.

Em sua obra principal *Ensaio de Estática Química* foi o primeiro a pôr em relevo a importância da concentração ou massa ativa das substâncias, como circunstância capaz de influir sobre a afinidade e sobre as transformações químicas. Seus importantes postulados a respeito das ações dos ácidos, das bases e dos sais sobre os sais tornaram-se clássicos e são conhecidos, em Química, com o nome de *Leis de Berthollet*.

Passou os últimos anos de sua vida em Arcueil, onde criou uma sociedade química, tendo como alunos ilustres Thenard e Gay-Lussac. Faleceu em 1822, aos 74 anos de idade.

Ascanio Sobrero

Químico italiano, nasceu em Casale, no ano de 1812, foi professor de Química Aplicada no Instituto de Turin e se dedicou, especialmente, ao estudo dos explosivos. Graduou-se em Medicina, também, em Turin. Tendo se mudado para Paris, foi estudar com Pelouze, do qual foi auxiliar em um laboratório privado entre os anos de 1840 e 1843. Nesse último ano transferiu-se para



Giesen onde aprimorou-se com J. Liebig, por vários meses. Em 1844, retornou a Turin, reassumindo suas atividades de professor de Química, montando, no ano seguinte, um modesto laboratório particular para o desenvolvimento de seus trabalhos de pesquisa.

Em 1846, obteve, pela primeira vez, a trinitroglicerina (ou simplesmente nitroglicerina), sem dúvida a sua principal contribuição para o progresso científico da época e que o deixou famoso; a descoberta da nitroglicerina abriu o caminho para o nascimento da grande indústria dos altos explosivos.

A propósito do referido descobrimento, revelou-se que a primeira notícia sobre a nitroglicerina foi dada por uma carta que o próprio Sobrero escreveu a Pelouze e que este a publicou na revista *L'Institut*, em 15 de fevereiro de 1847. No próprio mês e ano, Sobrero apresenta uma histórica comunicação à Academia de Turin, dando ciência do seu descobrimento. Nessa mesma comunicação Sobrero anunciou, também, as descobertas da nitromanita e da nitrolactose.

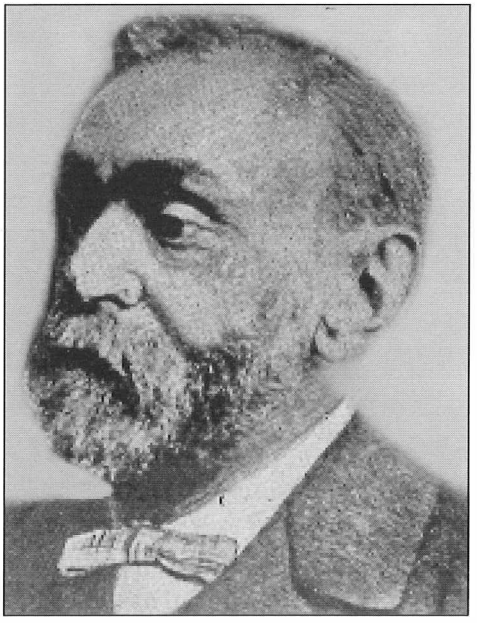
Depois da invenção da dinamite, por Alfredo Nobel, Sobrero tentou, em 1873, a montagem de uma fábrica para produção industrial de melamina, isto é, uma espécie de dinamite constituída por nitroglicerina absorvida em uma mistura de carvão vegetal e terra de Santa Fiora, sob forma de pó muito fino. O projeto não teve êxito, mas Sobrero aceitou o cargo de consultor químico da Companhia Nobel-Avigliana, da qual recebia um excelente salário e que perdurou pelo restante de sua vida.

Durante muitos anos, Sobrero guardara, zelosamente, em seu laboratório particular, uma amostra da nitroglicerina original fabricada em 1846. Quatro décadas depois, ele lavou a mesma amostra com solução fraca de bicarbonato de sódio e a transferiu para a fábrica de Nobel-Avigliana, onde está depositada até hoje.

Antes de falecer, em 1888, Sobrero deixou escrito um manual de Química aplicada às artes, além de numerosos trabalhos monográficos.

Alfredo Bernardo Nobel

O nome de Alfredo Nobel pode ser considerado como referência mundial da pesquisa, do desenvolvimento e da industrialização de explosivos. Esse ilustre químico sueco nasceu em Estocolmo, em 21 de outubro de 1833. Ainda muito jovem, mudou-se, com sua família, para São Petersburgo, pois seu pai fora contratado para montar uma fábrica de torpedos destinados à defesa de Kronstadt e de um estaleiro para produção de navios de guerra. Entre 1850 e 1854, Nobel



morou nos Estados Unidos, onde estudou. De volta a Estocolmo, concluiu seus estudos e foi trabalhar com seu pai na fabricação de explosivos, de 1859 até 1861, dedicando-se mais intensamente à produção da nitroglicerina. Em 1862, montou a primeira fábrica para produzir nitroglicerina na Suécia; em 1865, montou uma segunda fábrica em Krummel e, logo a seguir, uma outra em Winterviken.

Empenhado em encontrar um modo de diminuir ou até de eliminar o risco no transporte e o perigo do manuseio da nitroglicerina, Nobel descobriu, inicialmente, que o explosivo se insensibilizava quando era misturado com 20 a 25% de álcool metílico.

A dinamite e a cápsula detonante de fulminato de mercúrio resultaram, também, dos esforços de Nobel para fazer a nitroglicerina mais segura e apropriada para o uso. Tendo descoberto, inicialmente, que a nitroglicerina explodia pela ação de um artifício detonador, constituído de pólvora negra, ele tentou aproveitar esse efeito misturando os dois materiais; assim, em 1863, foi-lhe concedida a patente que incluía o uso de um explosivo líquido, tal como a nitroglicerina ou os nitratos de metila e etila, em mistura com a pólvora negra, a fim de aumentar a eficiência dessa última. A quantidade do líquido, presente no novo explosivo, era limitada pela exigência de que as misturas deveriam ser secas e em forma de grãos. Esses explosivos seriam iniciados pela ação de fogo, tal qual a pólvora negra; porém, a presença de um líquido reduzia a velocidade de queima, e, como conseqüência, as experiências não foram bem-sucedidas. A mesma patente cobria a possibilidade da substituição de parte do salitre pela nitroglicerina, já que sendo insolúvel em água e não higroscópica, ela atuaria como uma cobertura protetora para o sal e tornaria possível o emprego do nitrato de sódio nessas misturas.

Em 1864, Nobel patenteou uma nova invenção: relacionava-se a aperfeiçoamentos introduzidos na fabricação da nitroglicerina e na maneira de detoná-la, por aquecimento ou por meio de uma outra carga explosiva. Ele continuou suas experiências e, em 1867, foi-lhe concedida outra patente para um explosivo obtido misturando-se a nitroglicerina com uma substância de caráter não explosivo, mas com propriedades de um absorvente poroso, tal como carvão vegetal ou terra de infusórios, em pó muito finos. O material resultante era muito menos sensível ao choque que a nitroglicerina. Estava, pois, criada a dinamite, que foi fabricada e vendida, também, com o nome "pólvora de segurança de Nobel", para indicar que o produto trazia menos riscos do que a nitroglicerina pura ou que outras misturas anteriormente tentadas.

O evento importante que se seguiu, no desenvolvimento dos explosivos nitroglicerinados, foi a invenção de Nobel da "dinamite com uma base ativa"; nesse novo explosivo a nitroglicerina era absorvida por uma mistura de substâncias, que separadamente não eram explosivas, tais como os nitratos de potássio, de sódio ou de amônio, aos quais se adicionava serragem, carvão vegetal,

açúcar ou amido. A nitroglicerina formava uma tênue camada envolvendo as partículas dos materiais sólidos, permitindo que eles explodissem, se fosse usada uma cápsula de fulminato de mercúrio. A nitroglicerina, sozinha, não era suficiente para proteger da deliqüescência os nitratos de sódio e de amônio existentes nessas misturas. Foi, então, que Nobel tentou a adição de pequenas quantidades de parafina, estearina, naftaleno ou qualquer outra substância similar que fosse sólida na temperatura ambiente e tivesse a natureza de uma gordura para servir de cobertura para as partículas, evitando a absorção de umidade pelo explosivo e o perigo resultante da exsudação da nitroglicerina.

Em seu intenso e pertinaz trabalho com a nitroglicerina e com os explosivos dela derivados, Nobel ainda patenteou inúmeras formulações para as dinamites; nitrou uma mistura de glicerina e de glicol, tendo o líquido resultante produzido um explosivo que não congelava. Em 1875, porém, surgiram duas de suas grandes invenções: a gelatina explosiva (*blasting gelatin*) e a dinamite gelatina (*gelatin dynamite*); a primeira foi preparada pela dissolução de 7 a 8% de colódio em nitroglicerina; alguns solventes, como a acetona, o éter-álcool e o nitrobenzeno, facilitavam a incorporação das duas substâncias, a frio. Porém, Nobel observou que o colódio se dissolvia rapidamente, sem necessidade de adição de solvente, se a nitroglicerina fosse aquecida suavemente em banho-maria. A segunda — a dinamite gelatina típica — consistia de 62,5% de nitroglicerina, 2,5% de colódio, 27% de salitre e 8% de serragem. Um emoliente, tal como a vaselina, também foi usado, algumas vezes, para torná-la adequada ao emprego semelhante ao da gelatina explosiva.

Nobel verificou, ainda, que seus explosivos podiam ser congelados, sem muito perigo, mas que o descongelamento posterior mostrava tendência para que a nitroglicerina exsudasse, o que não o satisfazia.

Em 1879, Nobel adquiriu a patente de uma dinamite especial, desenvolvida por dois pesquisadores suecos: tratava-se de uma dinamite gelatina reforçada pela presença de 23 a 62% de nitrato de amônio. Dava-se início à fabricação dos explosivos amoniacais. A presença do nitrato de amônio, nos explosivos contendo nitroglicerina, esses de um passado mais longínquo, ou nos explosivos modernos, onde a nitroglicerina já não é tão necessária, veio acrescentar um enorme avanço na aplicação industrial e na segurança das dinamites, ambas tão ao gosto de Nobel.

Dos inventos de Nobel, pode-se dizer que talvez nenhum outro explosivo haja contribuído tanto, como a dinamite, para o progresso e o bem-estar social da humanidade. Depois de mais de 130 anos de sua descoberta, a dinamite continua sendo empregada, intensamente, como agente de ruptura, para vencer resistências diversas, encontradas nas construções de rodovias, de ferrovias e de túneis, nas minerações graníticas, carboníferas e de metais, nas explorações de petróleo, nas grandes construções de hidrelétricas ou nas demolições controladas.

Por seu interesse histórico, merecem ser recordados os "canhões de dinamites", assim chamados porque serviam para lançar projetis carregados com dinamites e que se valiam de ar comprimido como agente de propulsão. Eram, pois, verdadeiros canhões pneumáticos, de grande calibre e que foram empregados nos Estados Unidos, para a defesa da costa. Os americanos chegaram a construir um navio de guerra, o *Vesúvio*, que foi equipado, também, com esses canhões.

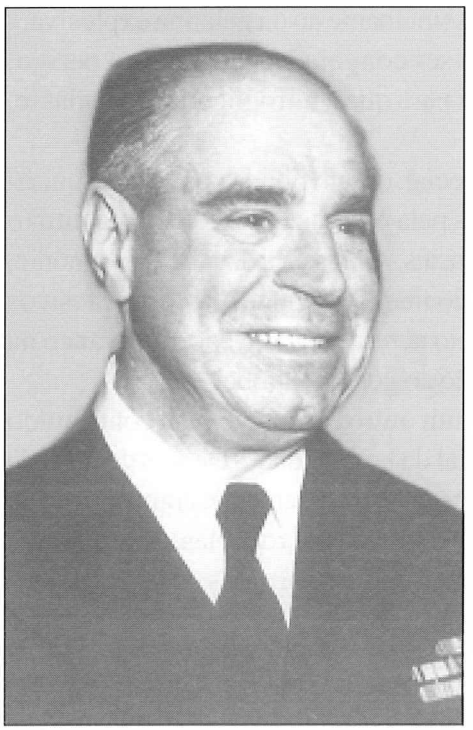
Em 1874, em sociedade com seus irmãos, explorou mananciais petrolíferos no Cáucaso, tendo, dez anos mais tarde, patenteado um procedimento para destilação contínua de petróleo, o que promoveu enorme êxito na indústria petrolífera da Rússia.

Data de 1888 mais uma patente sua; Nobel produziu uma pólvora sem fumaça, que denominou balistite, e que seria precursora da cordite, fabricada na Inglaterra.

Devido às suas grandes atividades na produção de dinamites e de outros explosivos, bem como a exploração de jazidas de petróleo, Nobel reuniu uma enorme fortuna. Por isso, ele, em 1895, fez seu testamento destinando que a renda desse grande capital fosse distribuída, anualmente, em forma de prêmio, aos mais destacados pesquisadores e trabalhadores no campo das letras, das ciências e da paz entre os povos. O prêmio, que leva o seu nome, é concedido através de escolha realizada por organizações apropriadas, e os agraciados são selecionados no mundo inteiro, sem levar em consideração a nacionalidade.

Nobel faleceu em 10 de dezembro de 1896, em San Remo, onde morava e havia instalado o seu laboratório.

Álvaro Alberto da Motta e Silva



Álvaro Alberto nasceu em 22 de abril de 1889, no Rio de Janeiro; filho do médico Álvaro Alberto da Silva e de D. Maria Teixeira da Motta e Silva. Da mãe receberia instrução primária e secundária e do pai iria adquirir os primeiros conhecimentos científicos e, com certeza, o amor pela pesquisa.

Em abril de 1906, ingressa na Escola Naval, onde, ao final do curso, em dezembro de 1909, recebe o Prêmio Greenhalg, honraria com que são distinguidos os melhores alunos da escola. Durante os quatro anos do curso realizou diversas viagens de instrução e, desse período, deixou os seus primeiros estudos. A bordo do encouraçado *Floriano* apresentou o trabalho intitulado *As Pólvoras de Guerra*, onde já demonstrava grande domínio técnico sobre o tema. A impressão que causou em seus superiores foi tão grande que ele foi elogiado por seu comandante, e o seu trabalho mereceu publicação na *Revista Marítima*.

Promovido a segundo-tenente, em janeiro de 1910, é classificado no navio *Minas Gerais*, onde acabou gravemente ferido no ombro pela baioneta de um marinheiro, no episódio conhecido como "Revolta da Chibata". Ao se recuperar do ferimento foi ser instrutor na Escola Modelo de Aprendizes de

Marinheiro. Naquele estabelecimento dedicou-se aos estudos de Física e de Química, pois desejava continuar o trabalho que seu pai havia iniciado sobre a brazilita, um explosivo à base de picrato de guanidina; a patente mundial da descoberta e autorização de fabricação da brazilita fora concedida ao Dr. Álvaro Alberto da Silva, em 1902.

O ano de 1911 levou-o a ingressar na Escola Politécnica do Rio de Janeiro. Três anos mais tarde, isto é, em 1914, é promovido a primeiro-tenente e classificado na flotilha do *Amazonas*. Nessa missão, além de acompanhar e fiscalizar uma comissão hidrográfica estrangeira, que realizou levantamento dos bancos e canais da embocadura do Rio Amazonas, fez duas cartas da região e estudos hidrográficos, sendo-lhe conferido, ao final, o certificado de engenheiro-geógrafo.

Em 1916, foi transferido para o quadro suplementar da Marinha, por haver sido aprovado em concurso, e designado professor de Química e Explosivos da Escola Naval. Era sua intenção prosseguir as pesquisas sobre a brazilita, em continuação ao que havia iniciado na Escola de Aprendizes de Marinheiro. Por isso, o magistério pareceu-lhe o caminho lógico facilitado pelo conflito mundial (Primeira Grande Guerra) haver despertado, nas autoridades militares brasileiras, a necessidade de se desenvolver material bélico nacional. Nesse mesmo ano é criada a Academia Brasileira de Ciências, na qual Álvaro Alberto ingressaria mais tarde.

Dotado de grande pendor para a pesquisa e para o ensino, Álvaro Alberto surpreendeu, mais uma vez, ao investir no setor empresarial. Ainda como primeiro-tenente fundou, em novembro de 1917, uma empresa com o nome de F. Venâncio & Cia., no município de Duque de Caxias, com a finalidade de desenvolver e produzir explosivos. Decorridos dez anos, a empresa, já consolidada, foi reestruturada e transformada na Sociedade Brasileira de Explosivos Rupturita S/A.; rupturita havia sido o nome dado por Álvaro Alberto ao primeiro explosivo industrial que ele inventara, fabricara e patenteara no Brasil e que encontrara largo uso em desmontes de rochas e nas minerações de carvão e ferro. Logo a rupturita despertou o interesse da Marinha, que mandou promover estudos sobre a segurança e a eficiência de um outro explosivo, desenvolvido especialmente para fins militares, que viria a se chamar super-rupturita (SR). A SR foi usada em bombas e minas submarinas, em várias revoltas que agitaram a década de 1920.

De 1920 a 1928, Álvaro Alberto presidiu a Sociedade Brasileira de Química. Nesse período, isto é, em 1921, foi admitido na Academia Brasileira de Ciências, sendo eleito após ver aprovado o seu trabalho "Notas sobre a Resistência dos Meios". Por mais de três décadas freqüentou as reuniões com assiduidade incomum, apresentando os resultados de seus trabalhos, principalmente os voltados para a química dos explosivos. Foi presidente da entidade nos anos de 1935 e 1949. Durante 12 anos, ou seja, de 1924 até 1936, representou o Brasil na União Internacional de Química Pura e Aplicada.

Era o ano de 1925; Álvaro Alberto decidiu que a F. Venâncio & Cia. deveria aceitar o desafio de instalar, no Brasil, uma indústria química voltada para a produção de pólvoras e explosivos; aliás, esse era um antigo sonho do Ministério da Marinha que, por diversas vezes, propusera, à Presidência da República, a implantação de uma indústria desse tipo, da qual a Força Naval pudesse se utilizar. O plano era por demais ousado e previa a construção de um complexo industrial

composto de fábricas capazes de produzir os ácidos sulfúrico e nítrico, glicerina, nitroglicerina, nitrocelulose e seus derivados, pólvoras e gases de guerra, assim como todas as demais substâncias necessárias para tornar o País independente de fornecimento do exterior em explosivos e agentes de guerra química; uma vez implantado esse complexo, a Marinha estaria desobrigada de adquirir, via importação, grandes estoques, como fazia na época. A proposta contemplava, também, produtos de uso não-militar para fornecimento às fábricas civis. Se uma parte do que era importado fosse substituída por produtos de fabricação nacional, Álvaro Alberto acreditava que a sobrevivência e o desenvolvimento de sua empresa estariam garantidos; só que sua proposta baseava-se na concessão de empréstimos, pelo governo, em condições favoráveis, como as existentes para a siderurgia e, ainda, as concessões outorgadas pela legislação brasileira a outras indústrias. Infelizmente, a iniciativa não teve o resultado que era esperado.

Além da cadeira de Química e Explosivos que Álvaro Alberto lecionava na Escola Naval, fazia 16 anos, ele ocupou-se, em 1932, com a instalação do laboratório de química, metalurgia, pólvoras, explosivos e gases de combate. O ano de 1935 levou-o à Escola Técnica do Exército, atual Instituto Militar de Engenharia, para ministrar a cadeira de Química Industrial, onde permaneceu até 1937; ingressa, também, na Liga de Defesa Nacional, da qual seria, mais tarde, o seu presidente.

Em 1937, presidiu o Congresso Sul-Americano de Química, realizado no Rio de Janeiro. Dois anos mais tarde, em 1939, escreveu o trabalho *Pólvoras sem Dissolvente Volátil* e recebeu, da Academia Brasileira de Ciências, o Prêmio Einstein para o qual concorrera com o trabalho *Sobre um Problema de Físico-Química Aplicada*. Ainda nesse ano publica a obra, em dois volumes, *O Problema das Palavras e sua Solução Atual*. A eclosão da Segunda Guerra Mundial já o encontrou atento para a questão nuclear; nesse sentido incorporou o estudo da energia atômica em seu programa de ensino na Escola Naval, ao final desse ano.

Em 1940, produz pela primeira vez no Brasil a azida de chumbo, em seu laboratório particular, e depois a industrializa; apresentou à Academia o trabalho *A Contribuição dos Jesuítas (da Companhia de Jesus) para as Ciências Físicas*.

O ano de 1942 é marcante na vida de Álvaro Alberto: ele é transferido para a reserva remunerada da Marinha, no posto de Capitão-de-Mar-e-Guerra; recebe o título honorário do Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro. Mesmo na reserva, permanece nas funções de professor da Escola Naval; paralelamente assume a chefia do Departamento de Ciências Físicas, do qual esteve à frente até 1946.

Em 1943, a Rupturita participa do esforço de guerra, fornecendo à Marinha Brasileira minas submarinas carregadas com o explosivo super-rupturita e produzindo aditivos estabilizantes e gelatinizantes para as pólvoras; esses últimos, por serem materiais importados, tiveram seus fornecimentos interrompidos às Forças Armadas, devido à guerra. Realizou, ainda, carregamentos de bombas de aviação.

Organizou, em 1945, importante evento reunindo pesquisadores brasileiros ligados à energia atômica; ao mesmo tempo apresentou, à Academia, trabalhos que se concentraram nos temas:

sobre o bombardeio neutrônico do urânio; a cisão atômica e os elementos transurânicos: o netúnio e o plutônio; sobre a energia intratômica.

Álvaro Alberto consegue do governo do Estado do Rio de Janeiro, em 1946, a desapropriação dos terrenos da Fazenda da Olaria, em Vila de Cava, 3º Distrito de Nova Iguaçu, para que neles fosse instalada a Rupturita S/A. Explosivos, visto que o crescimento populacional de Duque de Caxias não mais permitia, por questões de segurança, que uma indústria de explosivos permanecesse naquela região. Concomitantemente, é designado representante do Brasil junto à Comissão de Energia Atômica das Nações Unidas, sendo indicado, por unanimidade, pelos órgãos governamentais. Em dois anos de atividades, nessa comissão, assume a sua presidência em dois períodos. Encontra tempo, ainda, para apresentar estudos *Sobre o Cálculo das Forças do Urânio 235 como Explosivo* e *Sobre a Brisância do Explosivo Atômico.*

Em 1947, defende a tese das "compensações específicas", segundo a qual os países possuidores de matérias-primas nucleares deveriam ter acesso à tecnologia nuclear em vez de só receberem compensações financeiras, e, em 1948, chefia a comissão incumbida, pelo Presidente da República, de elaborar o anteprojeto da criação do Conselho Nacional de Pesquisa — CNPq.

Assume, em 1949, a presidência da Academia Brasileira de Ciências, cargo que ocupou até 1951. Ainda nesse ano defende a criação do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), que mais tarde iria integrar o CNPq.

Nos anos seguintes: 1950, recebe o título de grande oficial da Ordem Nacional do Mérito, e, em 1951, é nomeado primeiro presidente do CNPq. Como parte de suas atividades à frente do CNPq, Álvaro Alberto promoveu a criação, nos quadros daquele instituto, em 1952, do Instituto de Matemática Pura e Aplicada (IMPA) e do Instituto de Pesquisas da Amazônia (INPA).

Mesmo com inúmeros afazeres, Álvaro Alberto não deixou de dar atenção à sua empresa. Por isso, a Rupturita passou a produzir, a partir de 1953, o nitrato de amônio, que até então era importado. Assim foi possível diversificar as suas dinamites e entrar no campo do ANFO, um explosivo moderno, na época.

Em 1954, mesmo na reserva remunerada da Marinha, Álvaro Alberto é promovido ao posto de Contra-Almirante, por decisão e ato do Congresso Nacional, fato esse pouco comum, por se tratar de um oficial do quadro extraordinário. Ao mesmo tempo, é promovido a Vice-Almirante depois de o Conselho do Almirantado ter reconhecido seus serviços prestados às Forças Armadas brasileiras, sua importância na preparação de jovens oficiais, seus vastos estudos sobre explosivos e, sobretudo, sua participação na Comissão de Energia Atômica das Nações Unidas.

O ano é de 1955, Álvaro Alberto resolve concentrar suas atividades na Liga de Defesa Nacional, da qual foi membro durante 45 anos — de 1931 até 1976; ocupou, por 18 anos consecutivos, a presidência da Comissão Executiva do Diretório Central, o cargo executivo mais importante daquela instituição.

Em 20 de junho de 1959, a Rupturita começa a produzir nitroglicerina, cujo projeto, fabricação e montagem dos equipamentos foram realizados por engenheiros e técnicos da própria empresa, sob a supervisão de Álvaro Alberto.

Já aos 71 anos de idade, Álvaro Alberto começa a publicar *A Margem da Ciência* em quatro volumes. O último volume só seria editado em 1972. A obra é um profundo estudo filosófico da ciência, desde os trabalhos de Aristóteles até o desenvolvimento da Física Moderna.

Em 1967, a Rupturita lança, pela primeira vez no Brasil, a nova linha de dinamites — as lamas explosivas; inicia, também, um programa de fabricação de itens militares, em convênio com o Instituto de Pesquisa da Marinha, tendo, na oportunidade, sido desenvolvida e industrializada a granada de mão *Odeti* (ogiva de tempo e impacto).

Álvaro Alberto morre em 31 de janeiro de 1976, no Rio de Janeiro, aos 86 anos de idade.

Por decreto de 29 de janeiro de 1986, o Presidente da República instituiu o "Prêmio Almirante Álvaro Alberto", a ser concedido anualmente, cujo objetivo é reconhecer e estimular pesquisadores e cientistas brasileiros que tenham prestado relevante contribuição para o desenvolvimento da ciência e da tecnologia no País.

No decorrer de sua vida Álvaro Alberto soube adequar sua condição de chefe de família, de militar, de professor, de cientista, de pesquisador e de empresário. Para todas essas funções sempre dedicou tempo, entusiasmo e um exacerbado nacionalismo; foi extremamente eficiente naquilo a que se propôs realizar.

O pioneirismo e a objetividade foram marcos em sua existência. Por ser dotado de excepcional inteligência, suas idéias estiveram sempre muito avançadas em relação ao tempo em que viveu. Por isso pode vislumbrar, já em 1917, que era importante criar uma fábrica de explosivos no Brasil, que pudesse suprir a necessidade daqueles produtos ainda escassos. Acalentou o desejo de transformar sua empresa num imenso complexo industrial, em 1925; introduziu a energia atômica em seu programa de ensino na Escola Naval, em 1939. Fabricou o nitrato de amônio, até então importado, ampliando o campo de produção de dinamites mais modernas, em 1953, e perseguiu a modernidade implantando a linha de lamas explosivas em sua indústria, sendo o primeiro a fabricar esse tipo de explosivos no Brasil. Criou o órgão para se encarregar da pesquisa científica e tecnológica no País, o CNPq, em 1949.

Em resumo: Álvaro Alberto prestou infindáveis e relevantes serviços à sua Pátria, que vão desde os estudos aprofundados sobre a química dos explosivos até se estenderem aos trabalhos dedicados à consolidação do ingresso do Brasil na Comissão de Energia Atômica da ONU.

Ao exaltarmos, com orgulho, o valor desse brasileiro, que honrou o seu País, conclamamos a todos que mirem-se no seu exemplo edificante.

Teofilo Julio Pelouze

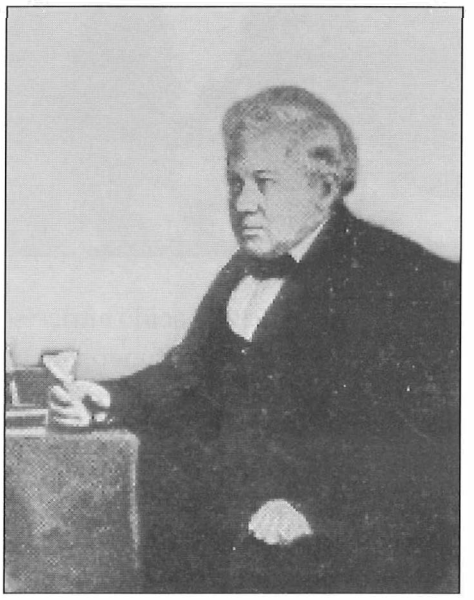
Químico francês, nasceu em Valognes (Mancha) no ano de 1807 e faleceu em Paris, em 1867. Ingressou, como farmacêutico, no Hospital de Salpetriere, em 1827, e, em 1833, tornou-se professor de Química pela Escola Politécnica de Paris. Mudou-se para a Alemanha, em 1836, onde, juntamente com Justo Liebig, dedicou-se a pesquisas no campo da Química Orgânica; desta cola-

boração resultou o descobrimento do éter enântico, que confere aos vinhos sua peculiar fragrância. Substituiu Thenard e Dumar na seção de Química do Colégio de França, em cuja instituição chegou a ser, mais tarde, professor titular, ocupando a cátedra até 1851. Sucedeu a Gay-Lussac na vaga de químico do Comitê de Pólvoras.

A ciência deve a Pelouze várias descobertas e invenções, dentre elas a dos nitrosulfitos, do cianeto de ferro, a preparação da primeira nitrila etc. Efetuou os primeiros estudos concludentes sobre as propriedades e natureza do açúcar de beterraba, estabelecendo sua comparação com o açúcar de cana. Estudou, também, a xiloidina de Braconnot e concluiu que ela devia ser considerada como um nitroamido.

Em 1838, conseguiu nitrar uma amostra de papel e, deste modo, foi o primeiro a preparar a nitrocelulose, embora ele mesmo não conseguisse interpretar, devidamente, o resultado de suas experiências. Pelouze mergulhou papel em ácido nítrico de densidade 1,5, durante dois ou três minutos, obtendo um material que, depois de lavado e seco, era extremamente combustível. Erroneamente acreditou que as propriedades do novo material eram conseqüência da formação e incorporação de certa proporção da Xiloidina. Foi o primeiro a preparar, na França, a piroxilina (nitrocelulose contendo de 8% até 12% de nitrogênio).

Publicou um tratado de Química Geral, em colaboração com Fremy, além de um considerável número de memórias; entre essas últimas, há uma que descreve, pela primeira vez, a formação sintética de uma substância graxa a partir da glicerina e de um ácido.



Cristian Federico Schonbein

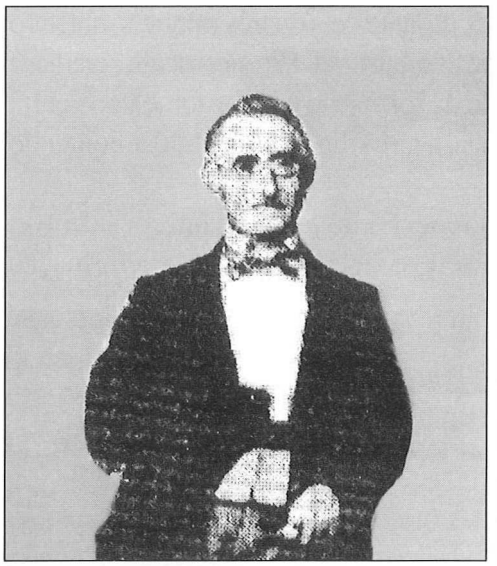
Schonbein nasceu em 1799, na Suíça. Foi professor de Química na Basiléa, desde 1829 até sua morte, ocorrida em 1868. A ele são atribuídos os primeiros trabalhos meticulosos a respeito do ozônio, a quem deu o nome, em 1839. Poucos anos mais tarde descobriu o algodão pólvora (nitrocelulose com teor de nitrogênio maior que 13%), tendo comunicado esse fato à Sociedade de Investigações Científicas da Basiléa, em 27 de maio de 1846. Descreveu, em detalhes, a nitração do açúcar de cana, porém,

deliberadamente, se reservou à explicação do processo no caso do nitroalgodão. Em 28 de julho, do mesmo ano, efetuou o disparo de um canhão carregado com algodão pólvora e um projetil, também, na Basiléa, sendo esta a primeira vez que o mencionado explosivo foi utilizado como agente de projeção. Experimentou, ainda, o algodão pólvora em morteiros, em armas de pequenos calibres e, pouco tempo depois, em desmontes de rochas.

Deu conhecimento do seu processo de preparação do nitroalgodão a John Taylor que, sem identificar o autor do método, obteve uma correspondente patente, na Inglaterra, em 8 de outubro de 1846. Com a publicação desta patente inglesa, o processo de Schonbein perdeu todo o seu segredo.

A par de seus trabalhos com explosivos, realizou estudos sobre a água oxigenada, a auto-oxidação, o ácido cianídrico e os catalisadores, deixando publicadas mais de trezentas obras que atestam a sua fecunda operosidade.

Rodolfo Cristiano Bottger

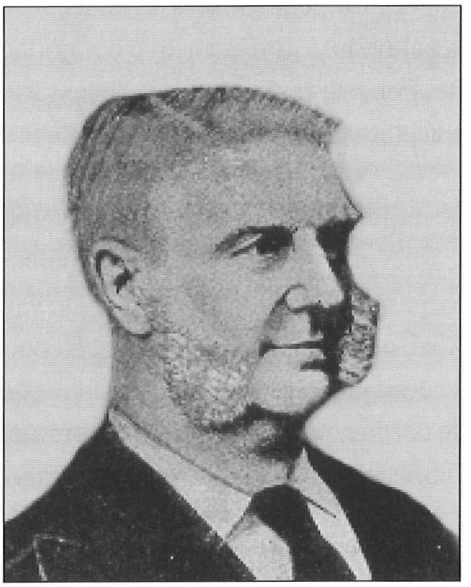


Químico alemão, nasceu em Aschersleben, no ano de 1806, e faleceu em Frankfurt, em 1881. Estudou em Halle e, desde 1831, dedicou-se às ciências naturais. Doutorado em Filosofia, foi professor de Física e de Química, também em Frankfurt. Realizou diversos descobrimentos, tendo, em 1842, criado a hialografia, ou seja, a arte de gravar sobre cristais; em 1846, fabricou o algodão pólvora, independente da descoberta de Schonbein, que havia se realizado uns poucos meses antes. Foi o próprio Bottger quem participou a Schonbein que obtivera o nitroalgodão. Realizou importantes estudos a respeito do *envenenamento* de catalisadores de platina. Inventou os famosos fósforos suecos, assim como o niquelado de metais facilmente oxidáveis. Merece destaque, ainda, que tanto Bottger quanto Schonbein descobriram que o efeito do ácido nítrico sobre a celulose (algodão) se acentua quando eles operaram em presença de ácido sulfúrico; foi introduzida, então, a idéia do uso da mistura sulfonítrica para a obtenção da nitrocelulose. O entusiasmo pela descoberta da nitrocelulose foi tão grande que Schonbein e Bottger resolveram produzir o novo explosivo, industrialmente, a fim de empregá-lo de forma generalizada, em substituição à pólvora negra. No entanto, uma série de desastrosas explosões não tardaram a ocorrer, nas fábricas e nos depósitos do novo produto, de modo espontâneo ou sem causa aparente; este fato pôs em relevo a alarmante periculosidade do algodão

pólvora, o que induziu, inclusive, o abandono temporário de sua fabricação, até que se achasse o motivo que levava o produto a se decompor espontânea e explosivamente; isso foi conseguido, mais tarde, por Abel.

Bottger deixou escritos alguns tratados e numerosos artigos que foram publicados em diferentes revistas científicas.

Federico Augusto Abel



Químico inglês, nasceu em Londres, em 17 de julho de 1827. Sucedeu a Faraday como professor de Química na Real Academia Militar de Woolwich. Foi químico do Ministério da Guerra inglês. Melhorou o procedimento da fabricação do algodão pólvora, tendo introduzido a fase de "polpação", que permitiu uma melhor lavagem do produto, tornando possível sua estabilização. Foi von Lenck, um capitão do exército austríaco, que iniciou os estudos para a estabilização do algodão nitrado e que consistia em eliminar os resíduos dos ácidos utilizados no processo de fabricação. Mas coube a Abel aprofundar o modo operatório proposto por Lenck, concluindo, em 1865, que não bastava apenas lavar a nitrocelulose, para retirar os resíduos ácidos aderentes à fibra do algodão nitrado. Havia necessidade, também, de *cortar* as fibras em tamanhos menores, a fim de facilitar o escoamento dos ácidos oclusos nos canais da celulose, neutralizando-os, a seguir, por intermédio de um *fervimento* em meio alcalino. Apesar de todo o sucesso conseguido por Abel com a estabilização da nitrocelulose, em 1871, ocorreu uma catástrofe que destruiu toda uma fábrica, quem sabe em corroboração com o aforismo de que "qualquer explosivo pode detonar" e que o conceito de segurança resulta sempre de uma qualidade relativa.

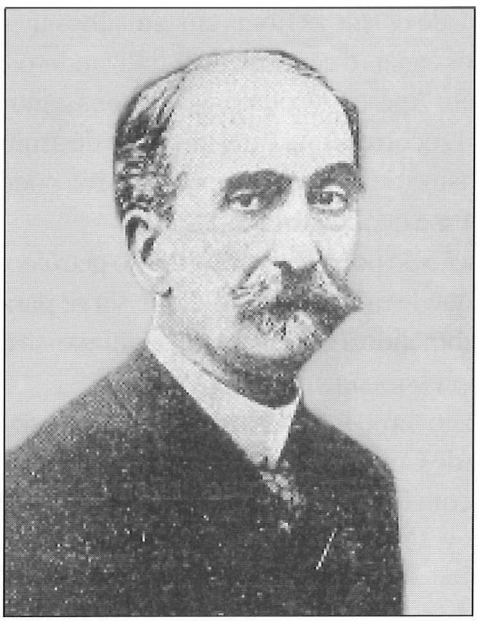
Abel inventou, também, um aparelho para a determinação do potencial calorífico do petróleo, no seu ponto de inflamação, bem como criou um teste, que leva o seu nome, e que serve para avaliar a estabilidade química de um explosivo, quando submetido a aquecimento, medindo-se o tempo que os vapores nitrosos, liberados do explosivo, impressionam um papel indicador.

Abel foi, durante muitos anos, conselheiro químico do governo inglês, membro da Comissão de Artilharia e do Comitê Real de Engenheiros e presidente do Comitê de Explosivos da Inglaterra, desde 1869. Escreveu um manual de Química, juntamente com Bloxam, e vários tratados e memórias. Faleceu em 1902.

James Dewar

Químico e físico britânico, nasceu em Kikardine-on-Forth, na Escócia, em 1842, tendo falecido, em Londres, em 1923. Foi professor de Filosofia, em Cambridge, e professor de Química na Academia Real de Londres. Liquefez o hidrogênio, pela primeira vez, em 1898, resfriando o gás por meio de ar líquido e comprimindo-o fortemente. Demonstrou, também, a grande capacidade que tem o negro de fumo de absorver o oxigênio preferencialmente ao nitrogênio. Fabricou, juntamente com Abel, a cordite, isto é, a pólvora nitroglicerinada que foi usada, regularmente, na Inglaterra. No caso da cordite, a nitrocelulose empregada era diferente da qual Nobel usou para produzir a balistite, ou seja, era uma nitrocelulose com mais alto teor de nitrogênio, insolúvel no álcool e no éter, sendo apenas solúvel na nitroglicerina; em outras palavras, a cordite usava o algodão pólvora, em vez do colódio com que se fabricava a balistite. Por esta razão, se fazia necessário ajudar a gelatinização por meio da adição de acetona ou de acetato de etila, solventes das deca e undecanitrato de celulose.

A origem da cordite data da época em que foi fabricada a pólvora "B" na França. O governo britânico designou uma comissão para estudar a adoção de uma pólvora química regulamentar para a Inglaterra. A comissão se constituiu, dentre outros, do químico Abel e do professor Dewar, efetuando-se os trabalhos experimentais no laboratório de Abel, no Arsenal de Woolwich. Depois de examinadas amostras de balistite e de outras pólvoras, a comissão se pronunciou em favor do emprego de uma nova composição, a qual deram o nome de cordite, porque ela tinha a forma de uns cordões, conforme patentes de abril e julho de 1889. A fabricação começou neste mesmo ano, na Royal Gunpowder Factory, em Waltham Abbey.



Paul Vieille

Engenheiro e químico francês, nasceu em Paris, em 2 de setembro de 1854. Graduou-se como engenheiro de pólvoras e explosivos, pela Escola Politécnica de Paris, aos 21 anos de idade.

Dedicado ao estudo dos explosivos, descobriu, em 1886, a pólvora "B" (*Poudre Blanche*), que veio a ser a primeira "pólvora sem fumaça"; esta descoberta proporcionou um notável avanço na indústria das pólvoras de guerra. Ainda como resultado de seus estudos, Vieille concluiu que a densidade e a constituição física da nitrocelulose eram os dois fatores principais a serem mo-

dificados para eliminar o efeito destruidor do nitroalgodão, transformando-o em um material de queima lenta e progressiva. Assim, observou que dissolvendo a nitrocelulose em acetona ou em álcool-éter e evaporando depois estes solventes resultava uma massa gelatinosa, livre da estrutura fibrosa do nitroalgodão de partida, com uma densidade de 1,5, que jamais seria alcançada, pela nitrocelulose, mesmo empregando-se pressões muito elevadas.

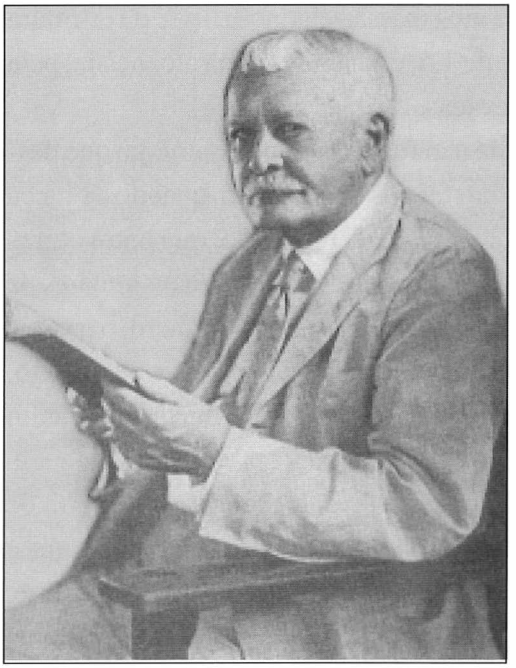
Merece recordar-se que o achado científico de Vieille não foi dado a conhecer logo que descoberto, tendo sido mantido como segredo militar enquanto foi possível. Assim, quando a França surpreendeu as demais nações com o lançamento do fuzil *Lebel*, de repetição, que entre outras coisas permitia velocidades iniciais do projetil superiores a cem metros às das armas similares de outros países, atribuíram-se essas vantagens a detalhes mecânicos tais como o número, o passo e a inclinação das raias do cano; na verdade, os franceses ocultaram a verdadeira chave do sucesso, que não tardou muito a ser descoberta pelas outras nações. Mediante análise química, verificaram que a razão do êxito estribava-se no uso da nova pólvora de Vieille; mais precisamente aquela preparada como produto da gelatinização do nitroalgodão por um solvente apropriado. A partir de então foi conhecida a "pólvora química", muito diferente da pólvora negra usada na época, que é obtida de uma mistura mecânica de seus três componentes tradicionais — carvão, enxofre e salitre, conforme preconizara Roger Bacon.

Ao descobrimento de Vieille, transcendental na história das pólvoras, seguiu-se, muito de perto, o de Nobel (1867); ele demonstrou que chegava a um resultado idêntico, gelatinizando o colódio com a nitroglicerina para obter um outro tipo de pólvora em que se combinam as propriedades daqueles componentes ativos. Pode-se, em conseqüência, afirmar que as pólvoras químicas de Vieille e Nobel significaram um processo revolucionário, porque, além de não produzirem quase qualquer fumaça, seus efeitos balísticos eram muito superiores aos que anteriormente eram obtidos com as pólvoras mecânicas. Como exemplo, a velocidade inicial do projetil, nos fuzis, aumentou cem metros por segundo, e a carga de projeção reduziu-se de um terço para se obter iguais efeitos balísticos.

Vieille realizou, ainda, intensas investigações a respeito da ação erosiva produzida pelas pólvoras nos canos ou nos tubos das armas de fogo; construiu um manômetro registrador para estudos de balística. Foi, primeiramente, secretário e depois presidente da Comissão de Pólvoras e Explosivos da França, tendo sucedido Berthelot nesse último cargo.

Em 1889, recebeu, da Academia de Ciências, o Prêmio Lecomte como reconhecimento aos trabalhos prestados pelo conjunto de seus desenvolvimentos científicos e pelas numerosas obras publicadas. Faleceu no ano de 1934.

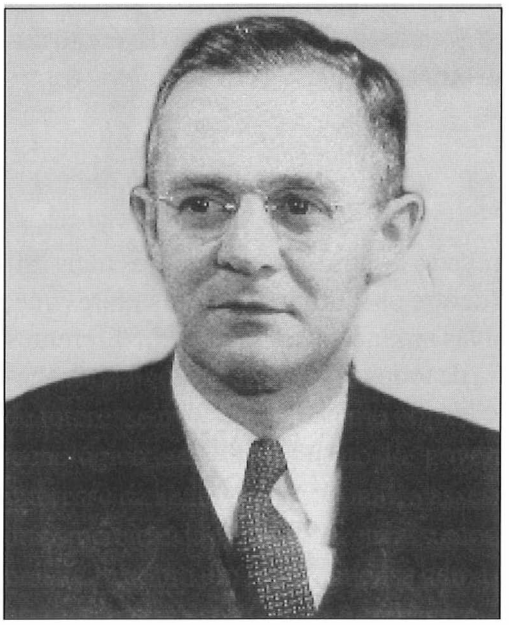
Charles Edward Munroe



Munroe nasceu em 1849 e foi considerado um dos mais importantes nomes no desenvolvimento dos explosivos nos Estados Unidos, no seu tempo. Em 1888, ele descobriu que podia imprimir letras na superfície de uma placa de aço, fazendo detonar, contra a superfície da placa, um bloco de algodão pólvora no qual estivessem incorporadas as citadas letras. Isso ficou conhecido como "efeito Munroe" ou efeito da "carga oca" ou, ainda, efeito da "carga moldada"; o método foi aperfeiçoado pelo próprio Munroe, tornando-se de grande importância na utilização de explosivos contra blindagens metálicas, fortificações, em prospecções sísmicas, em aberturas de fornos siderúrgicos etc. Em 1886, iniciou investigações sobre a pólvora sem fumaça, no laboratório da Naval Torpedo Station, em Rhode Island, concluindo seus estudos, em 1891, com a invenção da "indurite"; a indurite era preparada com algodão pólvora lavado com álcool metílico e gelatinizado com nitrobenzeno. A gelatina era laminada até a espessura desejada, cortada em quadrados ou tiras e endurecida, até a rigidez. Para se conseguir esse efeito, o nitrobenzeno era extraído, por ação de água quente ou vapor; na ausência do solvente, a massa coloidizada tornava-se muito rija.

Em 1915, realizou estudos sobre dinamites nitroglicerinadas, bem como sobre as dinamites amoniacais típicas e as de baixo ponto de congelamento (coisa incomum para a época). Em 1922, pesquisou a explosividade do nitrato de amônio. Desenvolveu, também, um método para testar detonadores, conforme relatório de investigação do Bureau de Minas dos Estados Unidos. Foi professor de Química na Academia Naval Americana, em Maryland, de 1874 a 1886; químico na Escola de Guerra Naval, em Rhode Island, de 1886 a 1892; professor de Química na Universidade de George Washington, de 1892 a 1917, e químico-chefe de explosivos no Bureau de Minas, de 1919 a 1933. Foi autor e co-autor de muitas e valiosas publicações do Bureau de Minas, dentre elas: um detonador de explosivos para a mineração de carvão; um detonador de explosivos para mineração de metais e em pedreiras; testes físicos de explosivos na estação experimental de explosivos. Publicou *O Desenvolvimento da Pólvora sem Fumaça*, onde relata os testes balísticos realizados com esse novo explosivo. Faleceu em 1938.

Fred Olsen



Fredrich Olsen nasceu em 1891. Notável pesquisador, desenvolveu importantes trabalhos no tratamento da celulose destinada à fabricação de pólvoras, além de haver realizado diversos aperfeiçoamentos para o emprego de explosivos de detonação, de altos explosivos e de pólvoras sem fumaça; deve-se a Olsen a invenção de um processo para rápida estabilização da nitrocelulose e que resultou na produção das pólvoras de grãos esféricos. Naquela época, já diretor de pesquisas da Western Cartridge Company, uma divisão da Olin Industries Incorporated, em East Alton, Illinois, Olsen buscava um meio de estabilizar a nitrocelulose; ao dissolvê-la em acetato de etila, em meio aquoso agitado, obteve os grãos da nova pólvora. Esta *fabricação* acidental ocorreu em 1920, levou de 15 a 20 anos até a industrialização definitiva e foi, sem dúvida, a grande obra de Olsen e uma reviravolta no processo de fabricação das pólvoras até então em uso.

A fabricação da pólvora esférica apresenta pouca semelhança com o método convencional de produção de propelentes extrusados; o resultado é um produto que é único na indústria de explosivos. O propelente consiste de pequenas esferas de diâmetros não maiores que 0,030 polegadas (0,762mm). No caso de as esferas se deformarem durante o processo de fabricação, o lote, como um todo, não é considerado perdido; as esferas deformadas são submetidas a uma operação de laminação e os elipsóides obtidos, do mesmo modo, usados para carregamento de munições, preferencialmente, de empregos civis.

A invenção de Fred Olsen mostrou-se muito importante para a fabricação, em larga escala, de alguns tipos de propelentes; as munições .30, .45, .50 e de 37mm (do canhão) adaptam-se bem ao uso da pólvora esférica. Já para as munições de calibres abaixo ou acima dos citados, tal propelente não é recomendado.

O processo contínuo descoberto por Fred Olsen oferece um número grande de vantagens sobre o método convencional de fabricação dos demais propelentes: várias das etapas do processo de produção ocorrem sob água emulsionada em um solvente, ou com o propelente úmido, o que é vantajoso em termos de segurança; a forma individual dos grãos, como pequenas esferas, permite uma melhor densidade de carregamento, resultando, também, melhor valor balístico quanto à velocidade do projetil e a pressão desenvolvida na câmara de combustão; a seqüência de operações, envolvendo a fabricação da pólvora esférica, permite produzir mais rápida e economicamente a mesma quantidade de propelente que seria produzida pelo processo convencional. A grande desvantagem do processo ocorre pela absoluta exclusividade das instalações. Acresce-se ao fato que, devido à queima mais limpa do propelente, o efeito erosivo, provocado pelos gases da combustão, é minimizado nos tubos e canos das armas.

Semelhantemente aos demais propelentes, as pólvoras esféricas são, também, usadas nos carregamentos de munições comerciais apropriadas ao esporte da caça e do tiro.

Em sua vida profissional, Olsen foi chefe de pesquisa química da Companhia de Explosivos Aetna, conselheiro químico do Arsenal de Picatinny (um dos arsenais de pesquisa do Exército dos Estados Unidos) e diretor técnico da Western Cartridge Company. Faleceu em 1986.

CONCLUSÃO

Encerramos aqui a publicação deste artigo que descreveu a biografia de alguns dos mais importantes descobridores de explosivos. Escolhemos 14 dentre os inúmeros pesquisadores que, através dos tempos, desenvolveram substâncias explosivas ainda hoje aplicadas em diferentes ramos de atividades. Impossível seria publicar a biografia de todos quantos descobriram, desenvolveram, produziram e aplicaram, pioneiramente, explosivos; tornar-se-ia enfadonho. Por isso, resolvemos citar aqueles que, em nosso entender, mais se destacaram na difícil arte de trabalhar com produtos tão perigosos, mas tão úteis em vários setores de nossas vidas. Tratamos aqui do monge Roger Bacon, que muitos atribuem como o descobridor da pólvora negra; provavelmente Bacon não descobriu aquele explosivo, mas aperfeiçoou algumas formulações usadas, especialmente, em pirotecnia, cujas composições se assemelham às da pólvora negra de hoje; por isso, a sua contribuição para a ciência, em sua época, é inquestionável. Referimo-nos, também, ao Almirante Álvaro Alberto, um brasileiro de visão e patriota ao extremo, que batalhou, durante toda a vida, pelo progresso da ciência em nosso País. Mereceu destaque, do mesmo modo, o dominador da nitroglicerina e inventor da dinamite: Alfredo Nobel. A ele são atribuídas diversas invenções e patentes que o colocam no topo dos maiores descobridores de seu tempo.

Citamos, ainda, Paul Vieille, o descobridor da "pólvora sem fumaça", que revolucionou a propulsão nas armas portáteis e nos canhões. Vieille foi, também, incansável pesquisador do efeito da erosão, provocada pela combustão das pólvoras, nos armamentos usados na França.

Esperamos, pois, que os feitos memoráveis de tão brilhantes homens de ciência permaneçam vivos entre nós, seus admiradores e "diletos alunos", sempre prontos que estamos a consultar suas obras, experimentalmente comprovadas e abundantemente aplicadas. C&T

BIBLIOGRAFIA

Álvaro Alberto — A Instituição da Ciência no Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia, 1987.

A. PEREZ ARA. *Tratado de Explosivos*. Editorial Cultural S/A., 1945.

Dados fornecidos pela Explo-Indústrias Químicas e Explosivos S/A. (atual Orica), 1988.

DAVIS, Tenney L. *Chemistry of Powder and Explosives*. John Wiley, 1943.

Entrevista com o Dr. Leonardo Otero Álvaro Alberto (filho do Almirante Álvaro Alberto), agosto de 2000.

GARCIA, João Carlos V. *Álvaro Alberto — A Ciência do Brasil*. Contraponto, 2000.

STAHLE, Nils K. *Alfredo Nobel et les Prix Nobel*. Fondation Nobel, 1989.

ARMAS NÃO LETAIS

*Ana Luiza Barbosa de Oliveira**

RESUMO

No fim do século XX, as potências industriais encontravam-se perante um dilema; elas desejavam empregar forças militares em missões de paz sem causar mortes. Isso suscitou um grande interesse, principalmente nos EUA, no desenvolvimento e emprego de armas, supostamente inofensivas, chamadas armas não letais. Seriam estas armas realmente inofensivas e qual o real interesse por trás de seu desenvolvimento? Nesse artigo, são descritas várias destas armas, com destaque para os agentes químicos ditos não letais.

INTRODUÇÃO

As operações de paz na Somália e na Bósnia foram particularmente destrutivas. Entre as várias sugestões para evitar que isto se repita, estão as de tornar os conflitos deste tipo mais "benignos" através do uso de armas não letais, de última geração.

O motivo principal para o desenvolvimento destas armas talvez não seja a criação de um novo tipo de intervenção menos sangrenta, mas, sim, a utilização deste tipo de armamento em operações militares normais, como parte da tentativa de manter o poderio militar através da superioridade tecnológica. Entretanto, outros países com intenções belicosas poderiam também se utilizar desta tecnologia. Como foi noticiado no *Wall Street Journal*, em 1993: "...a movimentação silenciosa dos EUA em direção à não letalidade poderia reabrir a *Caixa de Pandora* dos armamentos químicos, biológicos e nucleares, que os diplomatas passaram a maior parte do século XX tentando manter fechada..."

* 1º Tenente QEM/EB.

INTERVENÇÕES COM ARMAS NÃO LETAIS

A idéia de utilização de armas não letais data desde o início da década de 1960, como mostra um artigo de 1968[1] do Tenente-Coronel Celick do Exército americano: "Já em 1959 o Major-General William M. Creasy, ex-Chefe do USA Army Chemical Corps, sugeriu o desenvolvimento de psicoquímicos como uma maneira de vencer uma guerra sem causar mortes..."

Na comunidade internacional de pesquisas pacifistas,[2] também foi discutido que: "...conduzir uma guerra sem matanças, mutilações ou destruição de propriedade é tecnologicamente possível... O método aqui sugerido para evitar aspectos indesejáveis da guerra é a violência não letal..."

As tecnologias sugeridas para alcançar este objetivo incluíam: pistolas sônicas que disparam cargas sonoras, armas que disparam uma rede de malha, novas armas hipnóticas ou psicológicas.

TECNOLOGIA DAS ARMAS NÃO LETAIS

a) *A Tabela abaixo mostra várias tecnologias de armas não letais discutidas abertamente durante o início da década de 1990*

Tipos de armas não letais mais freqüentemente citados na literatura (AP = antipessoal e AM = antimaterial)

Categoria	Tipo	Descrição	Alvo
1) ACÚSTICAS	a) Infrasom	Som de baixa freqüência e alta intensidade (pode ser modificado para danificar estruturas)	AP (AM)
	b) Atordoamento	Sistemas mais sofisticados que atingem o alvo com força física	AP
2) BIOLÓGICAS/ MÉDICAS	a) Biodeterioração	Agentes biológicos que degradam materiais	AM
	b) Substâncias incapacitantes e/ou calmantes	Substâncias químicas que afetam o comportamento humano	AP
3) QUÍMICAS	a) Adesivos	"Supercolas" que rapidamente aderem aos materiais	AM
	b) Corrosivos ou cáusticos	Substâncias químicas que degradam materiais	AM
	c) "Fragilizantes"	Substâncias químicas que reduzem a resistência dos materiais	AM
	d) Espumas	Bolhas adesivas e viscosas ou densas para imobilizar as pessoas	AP
	e) Lubrificantes	Substâncias químicas que tornam as superfícies escorregadias (tecnologia antitração)	AP/AM
	f) Modificadores para motores de veículos	Substâncias químicas que alteram a queima do combustível, fazendo o veículo parar	AM

Categoria	Tipo	Descrição	Alvo
4) ELETROMAGNÉTICAS	a) Materiais condutores	Longas tiras que causam curto-circuito em sistemas elétricos	AM
	b) *Lasers* – sistema de baixa energia	Arma para cegar temporariamente as pessoas	AP
	– *laser* químico pulsante	Um meio de criar uma onda de choque de alta pressão em um determinado alvo	AM
	c) Luz – munição	Munição ótica que produz um *flash* de luz brilhante unidirecional	AP
	– estrobo	Luz pulsante de alta intensidade para desorientar as pessoas	AP
	d) Microondas	– Pulso simples de microondas de alta potência (não nuclear)	AM
		– Microondas de alta potência repetidas, formando um raio pulsante	AM
	e) Atordoamento	Uma variedade de sistemas antipessoal, como o atordoador elétrico *laser* e uma lanterna de luz de alta intensidade	AP
5) INFORMAÇÃO	Vírus de computador	Introdução de vírus para causar pane total em sistemas de computador	AM
6) CINÉTICA	a) Projetis	Objetos que apesar de serem destinados a atingir as pessoas são projetados para diminuir o risco de lesão	AP
	b) *Entanglers*	Redes, malhas ou objeto similar destinados a prender pessoas (ou veículos)	AP (AM)

b) Tecnologias acústicas

Desde que possuam a freqüência correta, as ondas sonoras podem fazer com que uma estrutura entre em ressonância e eventualmente se parta. Essa é a base da idéia de que é possível produzir um sinal forte o bastante de modo a causar danos a estruturas de edifícios. Um feixe sonoro bem direcionado de baixa freqüência e alta intensidade pode promover vibrações nos órgãos do ouvido interno, causando extrema náusea nas pessoas. Existem artigos que sugerem que a *Scientific Applications and Research Associates* (SARA) sediada em Huntington Beach, na Califórnia, em associação com o Laboratório Nacional de Los Álamos (LANL) e o Centro de Pesquisa, Desenvolvimento e Engenharia (ERDEC) do Exército americano estão envolvidos no projeto de

desenvolvimento desta arma.[3] Apesar de o equipamento necessário para atacar pessoas ser, razoavelmente, grande e complexo, a idéia é de que ele possa ser usado para evitar o ataque de multidões enfurecidas a órgãos públicos, como ocorreu na embaixada americana, em Teerã em 1979.[4] Sistemas mais sofisticados, nos quais o impacto das ondas sonoras é intensificado através, por exemplo, da ressonância entre diferentes fontes que se interceptam, são também possíveis e estão sendo pesquisados. Apesar de vários defensores deste tipo de armamento afirmarem que os efeitos nas pessoas cessam após o equipamento ser desligado, sem nenhum efeito residual, o SIPRI (*Stockholm International Peace Research Institute*) Yearbook notou que: "elas podem causar danos sérios ao ouvido interno a curto prazo".[5]

c) Tecnologias biológicas/médicas

Freqüentemente, agentes biológicos são citados como armas não letais. O *Bulletin of the Atomic Scientists* noticiou que o LANL conduziu uma revisão sobre organismos com esse potencial, chegando, inclusive, a identificar uma bactéria que degrada materiais específicos, de vários sistemas de armas. O uso de bactérias para vários propósitos já é comum na indústria e, com os avanços da engenharia genética, este número de aplicações deve aumentar ainda mais. Mesmo os defensores das armas não letais concordam que o uso de agentes biológicos é uma das áreas mais sensíveis, pois o uso de microorganismos em armas deste tipo vai contra a Convenção de Armas Biológicas, que tem como artigo primeiro: "Cada signatário desta Convenção se submete a, em nenhuma circunstância, produzir, estocar ou de outro modo adquirir ou manter sob seu poder: Microorganismos ou outros agentes biológicos, ou toxinas de qualquer origem ou método de produção, de tipos e quantidades não justificados, para fins de profilaxia, proteção ou outros propósitos pacíficos."

Os chamados agentes "calmantes" que causam sedação ao serem rapidamente absorvidos pela pele, através da mistura com dimetil sulfóxido (DMSO), são freqüentemente mencionados, juntamente com outros incapacitantes e irritantes, como possíveis armas não letais na literatura corrente.

Novamente, o uso destes agentes ameaçam a Convenção de Armas Químicas, na qual muitos esforços foram empenhados desde o fim da Guerra Fria. Esta Convenção proíbe o uso de agentes para controle de distúrbios como armas de guerra.

d) Tecnologias químicas

Uma variedade de outros agentes químicos foi proposta como armamento não letal (categoria 3 da tabela). Uma das idéias seria utilizar adesivos modernos para colar no chão veículos militares, ou obliterar as pás de turbinas de estações hidrelétricas, ou quando espalhados sob a forma de uma névoa, obliterar turbinas de aeronaves. Apesar da intenção primária ser antimaterial, também é previsto seu uso antipessoal. Porém não há como discriminar o uso, ou seja, separar um tipo de aplicação da outra. Mesmo que um ataque tenha como objetivo principal causar danos a veículos ou aeronaves, devido ao modo de dispersão destes agentes, certamente pessoas serão atingidas.

Isto é particularmente alarmante, no caso dos agentes extremamente corrosivos ou cáusticos. A mistura de ácido clorídrico com ácido nítrico é tão potente que dissolve metais e substâncias orgânicas como plástico e borracha. Já os hidróxidos de sódio, potássio e césio podem ser utilizados para destruir as partes de vidro de sistemas óticos. Estes agentes seriam utilizados nas formas de líquidos, aerossóis, pós ou géis e dispersados através de aeronaves, munições de artilharia ou aplicada por soldados.

As leis internacionais da guerra estipulam que as armas não devem ser indiscriminadas ou causar sofrimento desnecessário. Diante disto, como proteger a população civil das conseqüências de um ataque com supercorrosivos?

Os chamados agentes fragilizantes são, normalmente, conhecidos como agente LME, sigla em inglês para metal líquido fragilizante. Estes agentes são metais ou ligas líquidas em temperaturas máximas do ambiente, os quais reagem prontamente com outros metais formando ligas que tornam o material mais frágil e quebradiço.

As espumas adesivas foram desenvolvidas pelo laboratório nacional de Sandia, para proteção de comboios que transportam materiais nucleares, já que seria muito perigoso o uso de armas de fogo. Dois tipos de espuma foram desenvolvidos, um muito viscoso que prenderia aqueles tentando atacar o comboio, e outro, muito denso que também prenderia os atacantes, mantendo-os imóveis. A espuma adesiva está sendo desenvolvida para controle de distúrbios. Só não se sabe o que será feito com o baderneiro ou soldado inimigo que for coberto com essa cola e que não estiver adequadamente vestido.

O termo tecnologia antitração significa o emprego, em larga escala, de diferentes tipos de lubrificantes, de maneira a interferir nas operações militares. Se os sistemas de estradas de rodagem ou estradas de ferro não puderem ser utilizados porque estão escorregadios, o apoio logístico das forças em ação seria bastante dificultado. Os defensores deste tipo de tecnologia referem-se a lubrificantes "ambientalmente neutros", mas também destacam que estas substâncias dificultariam as operações por um tempo considerável, pois sua remoção é "cara e demorada".[6] Existe, portanto, a possibilidade de danos ao meio ambiente, dada a larga escala, em que devem ser empregados estes lubrificantes para que sejam atingidos seus objetivos iniciais.

Os exércitos modernos dependem, substancialmente, dos veículos com motores de combustão interna. Sabe-se que uma grande variedade de substâncias químicas pode alterar as características dos combustíveis e assim parar os motores. Outras maneiras de interromper a operação dos motores incluem o aumento da viscosidade dos combustíveis, pela ação de agentes químicos, sua degradação biológica ou o uso de materiais que bloqueiam os filtros de ar.

e) Tecnologias eletromagnéticas

Visto que a revolução tecnológica que afetou todas as operações militares está baseada na eletrônica, não é surpresa que a maioria das armas não letais citadas na literatura seja incluída na categoria de armas eletromagnéticas da Tabela já apresentada. Durante os primeiros dias da Guerra do Golfo e também durante a recente intervenção na Sérvia, foram utilizadas Munições de

Distribuição de Energia Elétrica (*electrical power distribuition munition*, EPDM). Estas munições são constituídas por longas fitas condutoras de carbono que são lançadas sobre linhas de força e subestações causando curtos-circuitos. Mesmo que o material seja retirado das linhas de transmissão de energia, a mais leve brisa já é suficiente para levantar as fitas causando mais curtos-circuitos. Porém, os generais americanos durante a Guerra do Golfo, ao contrário do que foi visto durante a intervenção na Sérvia, não estavam certos da eficiência deste tipo de arma e bombardearam os mesmos alvos com armas convencionais. Existem artigos[11] citando também o uso de partículas condutoras (carvão). Estas partículas poderiam causar danos respiratórios às pessoas próximas ao local do ataque.

Armas *laser* têm sido usadas pela Marinha britânica para atordoar pilotos inimigos já há alguns anos.[7] O mais preocupante é uma versão portátil desta arma que poderia ser utilizada para cegar pessoas. A revista *Defense Electronics* reportou em 1993 que estes "fuzis" estavam sendo desenvolvidos pela McDonnell Douglas Company, como parte de um programa de pesquisa do Exército americano chamado COBRA, com o objetivo de criar um sistema para cegar os sensores óticos inimigos. Artigos mais recentes[4,7] dizem respeito a um sistema *laser* de baixa energia (*low energy laser*, LEL), que oscila entre o vermelho e ultravioleta. Desta forma, para se proteger deste tipo de *laser* é preciso utilizar filtros que cobrem todo este espectro, e este tipo de lente é bastante caro e de fornecimento muito restrito. No entanto, mesmo *lasers* de baixa intensidade podem cegar, permanentemente, uma pessoa que estiver usando óculos de visão noturna. Apesar disto, estes sistemas estão em pleno desenvolvimento e sendo testados pelo governo americano.

Efeitos similares aos dos *lasers* podem ser obtidos com as chamadas munições óticas. Existem artigos citando o desenvolvimento de um radiador omnidirecional (isotrópico) e outro unidirecional. Um sistema de radiador omnidirecional é constituído por um gás que é comprimido até uma temperatura tal que se torna incandescente. O clarão produzido é muito forte e possui um espectro bastante amplo de luz. Na versão direcional, um *laser* é incorporado e a luz é emitida em apenas uma direção. Evancoe[4] sugeriu que este tipo de armamento, que pode ser disparado através de armas convencionais, lançados de aviões ou através de munição de artilharia, foi utilizado pelas forças soviéticas no Afeganistão. Nesta época, muitos moradores de vilas afegãs foram recebidos em hospitais, com vários graus de cegueira característicos de danos à retina causados por exposição a *laser* ou radiação isotrópica. Com a desintegração da União Soviética existe o perigo da proliferação indiscriminada deste tipo de armamento.

Uma outra aplicação da luz como arma são os estrobos, onde uma luz de alta intensidade pulsando em freqüências próximas à freqüência cerebral causam vertigem, náuseas e desorientação. O problema é que este tipo de estímulo pode disparar ataques epilépticos em uma percentagem da população. Outros tipos de armas não letais envolvendo luz e visão são hologramas e várias formas de camuflagem ativa, como uma tinta que muda de cor e padrão de acordo com a luz ambiente e a temperatura.[4,7]

Microondas de alta freqüência causam danos severos a sistemas eletrônicos não protegidos, como se sabe através de estudos, dos pulsos eletromagnéticos provenientes de explosões nucleares. Já é possível criar um pulso eletromagnético desta magnitude através de explosivos não nucleares.[4,7]

Artigos sugerem[5,7,8] que estes pulsos podem ser gerados por sistemas compactos, suficientes para serem instalados em ogivas de mísseis comuns. Estão sendo desenvolvidos, em Los Álamos,[8] geradores de pulsos eletromagnéticos civis e militares. O sistema é descrito como composto por um cilindro de cobre preenchido com explosivos e envolto por uma bobina. Capacitores fornecem uma corrrente que cria um campo magnético inicial que é então comprimido pela explosão, gerando um pulso de curta duração e alta energia. A versão militar possui explosivos na parte externa da bobina, para aumentar a compressão e, assim, tornar o pulso mais direcional. Não menos importante é a antena que focaliza o pulso em um arco de 30° a uma distância superior a 100 metros. Mas, de acordo com o SIPRI (*Stockholm International Peace Research Institute*), estas armas podem causar perda da consciência, ao perturbar caminhos neurais do cérebro. Uma variedade de dispositivos elétricos está disponível para uso comum: *lasers* e lanternas de luz de alta intensidade que causam desorientação.

Durante a intervenção na Bósnia, foi discutida publicamente nos EUA a possibilidade de utilização de tecnologias não letais.[9] Aparentemente, esta discussão foi incentivada por declarações do Senador americano Sam Nunn, na época o chefe do Comitê de Serviços Armados do Senado. Foram citados: ogivas contendo fibras de carbono para causar pane no sistema elétrico, agentes químicos que danificam pneus e microorganismos para alterar o combustível, tornando-o inútil. Destes, somente foi confirmado o uso das fibras de grafite que causaram cortes na energia elétrica por vários dias em muitas regiões da Sérvia.

NOVOS AGENTES QUÍMICOS

Os EUA vêm conduzindo experimentos desde a década de 1950, com vários agentes químicos conhecidos como psicodélicos. Os agentes químicos comuns (sufocantes, hemotóxicos, vesicantes e neurotóxicos) são destinados a causar baixas: tirar as forças inimigas de ação por longo tempo ou causar mortes. Os chamados agentes químicos não letais são tais que nas concentrações normais de campo causam incapacitação temporária, por um período não muito maior que o tempo de exposição; estes se dividem em inquietantes, causadores de irritação sensorial, como os lacrimejantes e esternutatórios, e incapacitantes, cujas ações sobre o sistema nervoso central causa incapacitação que dura por um período de horas ou dias. Se houver tratamento médico, a recuperação é ainda mais rápida.

Um documento da OTAN do início da década de 1970 descrevia esta classificação e sugeria como de interesse militar somente os agentes BZ e o LSD. Um estudo do SIPRI, também desta mesma época, apontava o interesse do US Army Chemical Corps em vários tipos de métodos de incapacitação, incluindo drogas contra hipertensão com o objetivo de causar desmaio, novos agentes vomitivos ou outros que aumentam a temperatura corporal. O problema crucial era encontrar agentes que apresentassem efeitos em baixas doses como os neurotóxicos, mas que exibissem uma grande distância entre a dose incapacitante e a letal.

De acordo com o SIPRI, as Forças Armadas dos EUA realizaram vários testes entre 1950 e 1975, com LSD, THC, fenentilaminas e BZ. A CIA conduziu experimentos para testar o LSD e outros psicodélicos, que foram administrados para um número indeterminado de pessoas sem seu conhecimento ou consentimento das mesmas.

Existe uma informação não confirmada de que o agente BZ teria sido usado durante a Guerra da Bósnia para forçar a queda das defesas de Zepa e Srebrenica, em 1995.

INTERVENÇÕES MENOS SANGRENTAS?

Apesar de terem interesses legítimos em guerras onde os combates seriam mais "benignos", existem outros propósitos por trás desta política de armas não letais. As grandes potências nunca farão intervenções, totalmente, não letais e na realidade "nunca haverá uma unidade totalmente não letal no Exército americano... As armas não letais devem ser capazes de ambas as respostas, letais e não letais, de forma precisa, de modo que o inimigo não saiba que resposta esperar, e assim os comandantes militares americanos terão um conjunto de respostas disponíveis".[6]

Quando analisamos as tecnologias das armas não letais e suas aplicações, fica claro que não se trata apenas de intervenções melhores, com menos perdas humanas ou traumáticas, mas sim da nova visão das operações militares normais. As armas não letais seriam apenas coadjuvantes neste contexto de guerras regulares.

O SIPRI Yearbook de 1993, no capítulo *Military tecnology and international security: the case of the USA*, mostra que a política militar dos EUA é manter a superioridade tecnológica demonstrada na guerra contra o Iraque. Para tal, uma estratégia importante seria promover um maior controle mundial de armamentos e, ao mesmo tempo, desenvolver armas ditas não letais, que não seriam incluídas nestes tratados internacionais.

CONCLUSÃO

No que se refere às armas não letais, é preciso ter em mente dois aspectos importantes. Primeiro, muitas vezes tecnologias, aparentemente inofensivas, podem trazer complicações e até causar a morte de algumas pessoas, como foi observado em São Francisco em 1950, quando o governo americano conduziu testes com uma bactéria que eles acreditavam inofensiva para simular um ataque biológico. Nesta ocasião, várias pessoas apresentaram infecções generalizadas e pelo menos uma morreu em conseqüência da exposição a grandes quantidades de esporos de *Serratia marcescens*.[10]

Outro aspecto seria que a aparente benevolência das grandes potências, em conduzir batalhas menos sangrentas ao desenvolver armas não letais para encobrir seu verdadeiro objetivo, é manter a supremacia tecnológica na área militar.

VISÃO NOTURNA E O PRINCÍPIO DE INTENSIFICAÇÃO DE LUZ RESIDUAL

*Luciene da Silva Demenicis**
*Mauro Cezar Rebello Cordeiro***

RESUMO

Este artigo tem como objetivo descrever o funcionamento dos equipamentos de visão noturna que utilizam intensificação de luz residual. Serão apresentados os principais parâmetros que determinam o desempenho desses equipamentos, dando-se atenção especial ao tubo intensificador de imagem, que é o componente mais importante.

INTRODUÇÃO

O emprego de visão noturna vem tornando-se indispensável no combate noturno. Com a tecnologia atual é possível atuar no cenário noturno tão bem quanto no diurno. Por isso, a aquisição de equipamentos capazes de captar imagens de ambientes pouco iluminados é fundamental. É importante então compreender os mecanismos de funcionamento, as vantagens e limitações dos equipamentos disponíveis no mercado.

Com o princípio de intensificação de luz residual é possível tornar visíveis, ao olho humano, as imagens provenientes de um cenário pouco iluminado. Nesse artigo, serão apresentados alguns dos aspectos que definem a qualidade da imagem gerada, bem como as características inerentes ao mecanismo de intensificação de luz residual. Serão apresentados também alguns conceitos básicos necessários à compreensão das questões abordadas sobre os intensificadores de imagem.

* Primeiro-Tenente QEM (IME/1997), Engenheira de Telecomunicação (PUC-Rio/1993), Mestrado em Engenharia de Telecomunicações (PUC-Rio/1996), servindo no IPD, luciene@taurus.ime.eb.br.
** Capitão QEM (IME/1994), Engenheiro Eletrônico (IME/1994), cursando Mestrado no IME.

Além disso, o uso de muitas destas armas em combates regulares é proibido pelas várias convenções internacionais, assinadas pelos mesmos países que estão desenvolvendo estas armas. As convenções serão simplesmente sacrificadas nesta busca pela supremacia militar? Se não, quem irá assegurar seu total cumprimento?

BIBLIOGRAFIA

1 – Lt. Col. CELICK, A. J. *Humane warfare for international peacekeeping.* Air University Review, p. 91-93, Set/Out de 1968.

2 – NUNN, A. C. *The arming of an international police.* Journal of Peace Research, 2, p. 187-191, 1965.

3 – TAPSCOTT, M. e ATWAL, K. *New weapons that win without killing on DoD's horizon.* Defense Electronics, p. 41-46, fevereiro de 1993.

4 – EVANCOE, P. R. *Non-lethal technologies enhance warrior's punch.* National Defense, p. 26-29, dezembro de 1993.

5 – KOKOSKI, R. *Non-lethal weapons: a case study of new technology developments.* SIPRI Yearbook, p. 367-368, 1994.

6 – MORRIS, J. e MORRIS, C. *Nonlethality: a global strategy.* Mimeo, 1994.

7 – KNOTH, A. *Disabling technologies: a critical assessment.* Defense Review, 7, p. 33-38, 1994.

8 – FUGHUM, D. A. *EMP weapons lead race for non-lethal technology.* Aviation Week and Space Technology, 24, p. 61, maio de 1993.

9 – FUGHUM, D. A. *U.S. weighs use of non-lethal weapons in Serbia if U. N. decides to fight.* Aviation Week and Space Technology, 17, p. 62, agosto de 1992.

10 – COLE, L. A. *Clouds of Secrecy – The Army's Germ Warfare Tests over Populated Areas*, p. 75-83, 1988.

11 – ANON. *Non-lethal technologies.* Tactical Technology, 3, fevereiro de 1993.

Aquele que tem esperança vê o sucesso
onde outros vêem o fracasso,
o Sol onde outros vêem sombra e tempestade.

O. S. Marsden

A excelência consiste em fazer algo comum
de maneira incomum.

Booker Washington

CONCEITOS BÁSICOS

Sem o auxílio de instrumentos, o olho humano só consegue perceber uma pequena parte do espectro eletromagnético, que é a faixa da luz visível, compreendida entre os comprimentos de onda de 400nm a 750nm.

Espectro Eletromagnético

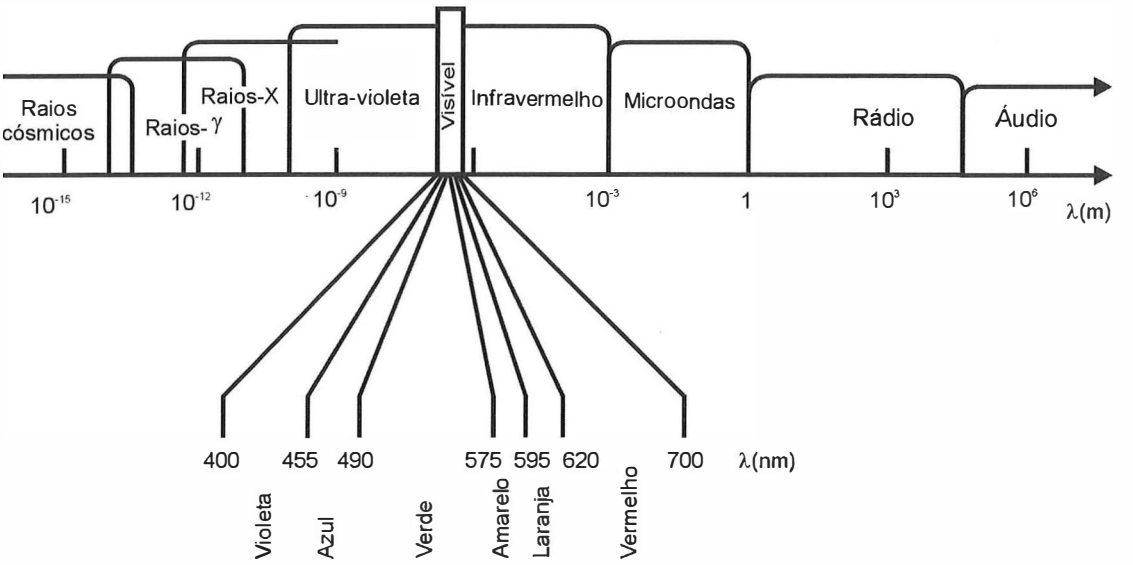


Figura 1: Espectro eletromagnético

Antes de 400nm está a região do ultravioleta, e após 750nm, a região do infravermelho. A região compreendida entre 750nm e 3.000nm é chamada de infravermelho próximo. Na Figura 1 encontra-se o espectro eletromagnético em função do comprimento de onda e a região do visível em detalhe.

Sistema Métrico

De acordo com a definição do CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) e aceita também pelo *American National Standards Institute*-ANSI Z7.1-1967, o sistema métrico da radiação eletromagnética considerado neste artigo será o da Tabela 1.[1] O sistema relativo à

radiometria é válido para todo o espectro eletromagnético. Enquanto que o relativo à fotometria, que é uma subdivisão da radiometria, na qual o olho humano é considerado o detector do sistema, só é válido na região visível do espectro eletromagnético.

Quantidade	Sistema Radiométrico	Sistema Fotométrico
Energia	joule (J)	Talbot
Potência ou fluxo	watt (W)	lúmen* (lm)
Intensidade (fonte pontual)	watt / estereorradiano (W/sr)	lúmen / estereorradiano (lm/sr) = candela (cd) **
Radiância	watt / (m^2. estereorradiano)	-
Luminância ou brilho	-	lúmen / (m^2. estereorradiano) = cd / m^2
Irradiância	watt / m^2	-
Iluminância (iluminamento)	-	lúmen / m^2 = lux (lx)

* 680 lúmens = 1 Watt em 555nm. Outros comprimentos de onda são escalonados de acordo com o gráfico da Figura 2.

** A correspondência entre lúmens e candela (unidade de grandeza de base), para uma fonte que radia igualmente para todas as direções, é 1 candela = (1/4 π) lúmens.

Observação: A área indicada nas unidades de irradiância e iluminância corresponde a área da superfície iluminada. Enquanto que a área indicada nas unidades de radiância e luminância é a área da fonte luminosa.

Tabela 1: Unidades radiométricas e fotométricas

A iluminância, ou iluminamento, é a medida do fluxo luminoso (ou potência) incidente por unidade de área de uma superfície iluminada, no sistema fotométrico.

A luminância é a medida do fluxo luminoso (ou potência) emitido por unidade de área da fonte emissora radiado dentro de um ângulo sólido, no sistema fotométrico.

No sistema radiométrico, a irradiância é o equivalente da iluminância e a radiância é o equivalente da luminância.

A conexão entre as unidades radiométricas (válidas em todo o espectro eletromagnético) e as unidades fotométricas (definidas apenas dentro da faixa visível), é que 1W de potência radiométrica no comprimento de onda de 555nm corresponde a 680 lúmens.

Todas as outras potências são escalonadas a partir da curva da Figura 2, que é a curva da eficiência luminosa espectral de um olho humano.[1] Na Figura 2, são apresentadas duas curvas e ambas representam a resposta relativa do olho humano. A linha cheia, com pico em 555nm, corresponde à resposta do olho humano quando este está adaptado à luz do dia. Nesta situação os cones são os maiores responsáveis pela visão. A linha pontilhada, com pico em 510nm, corresponde à resposta do olho humano quando adaptado à escuridão, sendo nesta outra situação os bastonetes responsáveis pela visão.

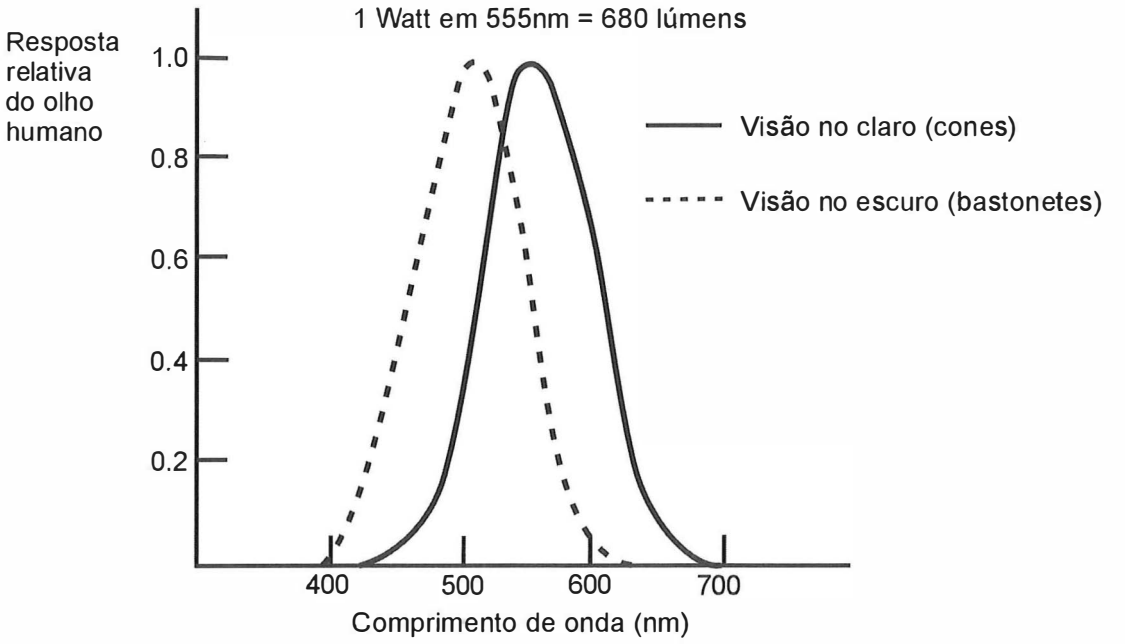


Figura 2: Curvas da eficiência espectral do olho humano. A linha cheia, com pico em 555nm, corresponde à resposta do olho humano quando este está adaptado à luz do dia. Nesta situação os cones são os maiores responsáveis pela visão. A linha pontilhada, com pico em 510nm, corresponde à resposta do olho humano quando adaptado à escuridão, sendo nesta outra situação os bastonetes responsáveis pela visão

Sistemas de Visão Noturna

Diferentemente do olho humano, os equipamentos de visão noturna são capazes de perceber, além da faixa da luz visível, outros comprimentos de onda.

Dependendo do tipo e geração do sistema de visão noturna utilizado, será possível perceber diferentes faixas do espectro eletromagnético. Existem dois tipos de sistemas com princípios de funcionamento distintos. O primeiro é composto pelos intensificadores de luz residual, e o segundo é composto pelos imageadores térmicos.

Os intensificadores de imagem se baseiam no princípio de coletar a luz residual proveniente, por exemplo, das estrelas ou da Lua que reflete nos objetos, convertê-la em elétrons, amplificá-la e reconvertê-la em fótons. Eles operam na faixa de comprimento de onda da luz visível e do infravermelho próximo.

Já os imageadores térmicos se baseiam na detecção da radiação intrínseca do cenário. Por isso, são capazes de funcionar em ambientes que não possuam qualquer tipo de iluminação, mesmo na escuridão absoluta. Eles operam no infravermelho, na faixa de 3.000 a 5.000nm ou 8.000 a 12.000nm, que são as faixas onde a atmosfera terrestre não absorve a radiação.[14]

O olho humano, além de perceber somente a faixa do visível, necessita de uma boa quantidade de iluminação para enxergá-la. Quando existe uma quantidade mínima de iluminação no ambiente, acima de 10lux, os cones são os responsáveis pela visão; tem-se uma alta acuidade visual e há a percepção das cores.

Com uma iluminação abaixo de 1lux, que equivale a uma penumbra profunda, os bastonetes passam a ser os responsáveis pela visão humana, a acuidade visual degrada e perde-se a percepção das cores. Para níveis de iluminação inferiores a 100mlux o olho humano não tem sensibilidade suficiente para enxergar e necessita de instrumentos auxiliares de visão noturna.

Na faixa de iluminação entre 100mlux e 0.1mlux os equipamentos de visão noturna intensificadores de imagem apresentam um ótimo desempenho. Abaixo de 0.1mlux a qualidade da imagem gerada pelos intensificadores de luz não é satisfatória.

Abaixo de 0.01mlux os intensificadores de imagem não operam. Neste caso, uma fonte luminosa auxiliar (diodo emissor de luz infravermelha) deve ser acionada para gerar a luz residual requerida pelo equipamento, e sua utilização fica limitada a curtas distâncias (dezenas de metros). Geralmente, esta fonte auxiliar, invisível a olho nu, está acoplada ao equipamento de visão noturna; e uma vez acionada, poderá facilmente ser detectada por outro equipamento. Com iluminação inferior a 0.01mlux, apenas os imageadores térmicos são capazes de obter imagens de forma passiva. Para isto, deve haver pelo menos uma pequena diferença de temperatura entre o objeto observado e o plano de fundo. O alcance dos imageadores térmicos é de vários quilômetros.

A qualidade da imagem dos intensificadores de imagem depende fortemente da iluminação (intensidade e comprimento de onda) do cenário observado. Quanto menor a quantidade de iluminação, menor o alcance, como pode ser observado pela Tabela 2.

Situação	Luz das estrelas (1mlux)	1/4 da luz da lua (10mlux)	Lua cheia (100mlux)
Reconhecimento de um homem	80m	140m	190m
Detecção de um homem	160m	280m	370m
Reconhecimento de um carro de combate	290m	420m	540m
Detecção de um carro de combate	570m	810m	1.030m

Tabela 2: Alcance típico de um equipamento intensificador de imagem, de segunda geração super ou terceira geração, para diferentes iluminações do cenário

Este artigo tratará apenas dos intensificadores de luz residual, os quais podem ser divididos em diferentes gerações. A resposta dos intensificadores de imagem varia dependendo da geração, mais especificamente do tipo de fotocatodo utilizado no tubo intensificador de imagem. Na Figura

3 são apresentadas curvas de resposta (ou sensibilidade) do fotocatodo com função do comprimento de onda para três tipos de tubos intensificadores de imagem, com fotocatodos diferentes. A curva S25 corresponde ao fotocatodo de segunda geração, a curva Super S25 corresponde ao de segunda geração super, e a curva GaAs corresponde ao de terceira geração.

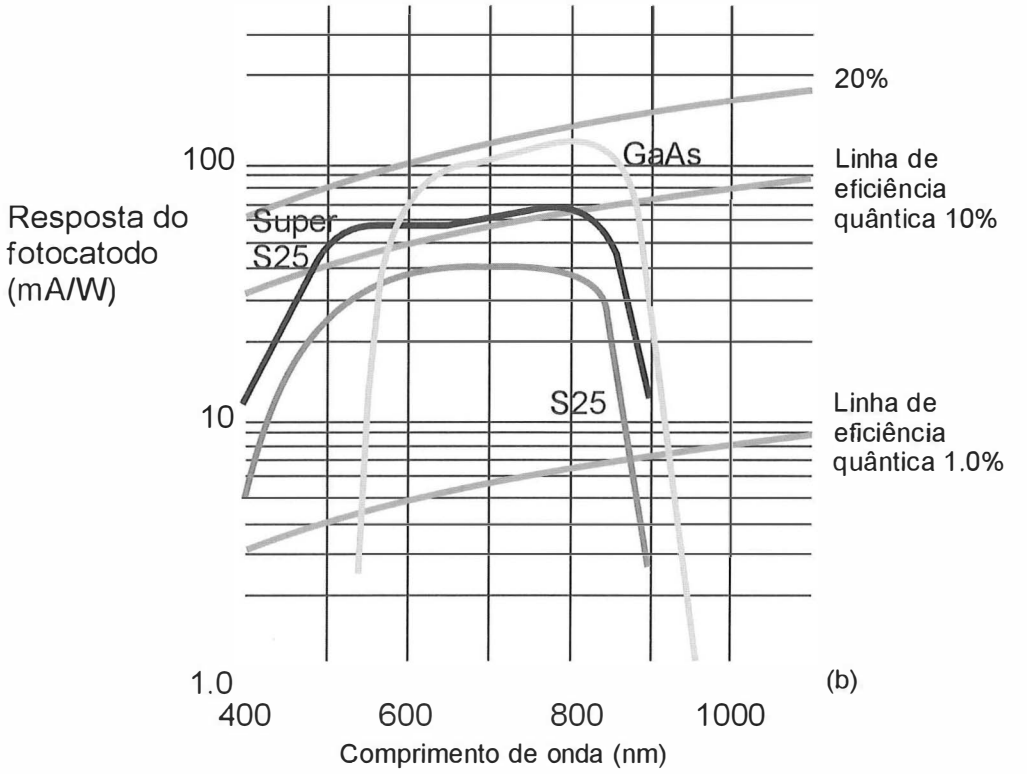


Figura 3: Comparação entre a resposta (sensibilidade) de diferentes gerações de intensificadores de luz residual em função do comprimento de onda. São apresentadas três curvas: S25 corresponde a um tubo de 2ª geração; Super S25 corresponde ao tubo de 2ª geração super e GaAs corresponde a um tubo de 3ª geração

Quanto maior a capacidade do equipamento de visão noturna de perceber comprimentos de onda na faixa do infravermelho próximo, melhor, pois a maioria dos materiais reflete mais os comprimentos de onda dessa região, como pode ser observado na Figura 4.

O que o olho humano percebe depende da curva da eficiência espectral do olho e da reflectância dos objetos que estão sendo observados. A refletância é a relação entre o fluxo luminoso refletido pelo objeto e o fluxo nele incidente. A refletância da vegetação, por exemplo, é mais intensa na região fora da faixa visível pelo olho humano (acima de 700nm). Na Figura 4 encontram-se as curvas da refletância de diversos objetos.

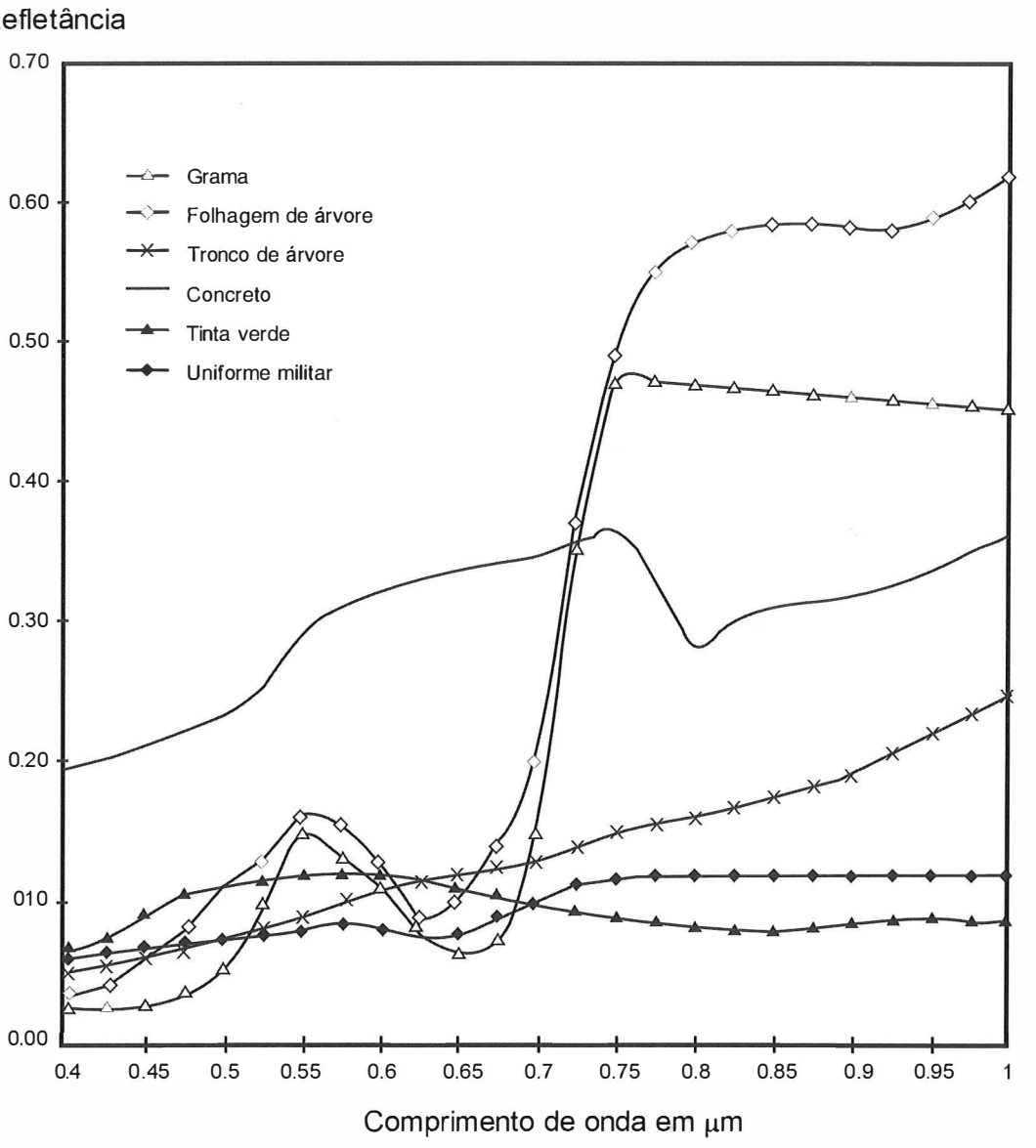


Figura 4: Refletância de diversos objetos em função do comprimento de onda

Contraste

A qualidade da imagem depende também do contraste do objeto em relação ao cenário no qual está inserido.

O contraste é determinado pela diferença de luminosidade, do plano de fundo e do objeto, quantidade esta que depende principalmente das respectivas refletâncias (assumindo-se que não se esteja observando uma fonte de luz).

Existem duas definições matemáticas para o contraste, uma para o campo e outra para o laboratório (sala escura).

Na definição de campo, o contraste (C) é dependente da irradiância medida do plano de fundo (I_{pf}) e do objeto (I_o). Assumindo-se que o objeto seja mais escuro do que o plano de fundo, o contraste pode ser definido pela equação (1) como sendo:

$$C = \frac{(I_{pf} - I_o)}{I_{pf}} \qquad (1)$$

Na definição utilizada em laboratório o contraste (C) depende da irradiância proveniente da parte branca do alvo (I_b) e da parte preta (I_p), e pode ser definido pela equação (2) como sendo:[1]

$$C = \frac{(I_b - I_p)}{(I_b + I_b)} \qquad (2)$$

Na Figura 9 encontra-se um exemplo de forte contraste.

Observando a Figura 4 pode-se notar que as refletâncias do uniforme militar e da folhagem das árvores, por exemplo, são semelhantes na faixa do visível. Entretanto, acima de 0.7μm a refletância da folhagem é bem maior do que a do uniforme militar.

Como os equipamentos de visão noturna operam também na faixa do infravermelho próximo, conforme mostrado na Figura 3, objetos com baixo contraste com relação a um cenário de árvores, por exemplo, são percebidos mais claramente com o auxílio de um equipamento de visão noturna do que a olho nu.

No campo, o contraste depende da distância do objeto e das condições climáticas. Devido ao espalhamento da luz na atmosfera, ele decresce gradativamente com a distância. As condições climáticas são usualmente caracterizadas pela visibilidade. A visibilidade é definida[2] como sendo a maior distância na qual um objeto, com 100% de contraste com relação ao cenário, pode ser visto assumindo-se que para se enxergar um objeto seja necessário, no mínimo, um contraste de 2 a 5%.

No gráfico da Figura 5 observa-se que numa situação de visibilidade de 15km (V=15km), um objeto a 2km de distância será visto com apenas metade do seu contraste original. Com a visibilidade em 7.5km, menos de um terço do contraste restará a 2km.

Quando se simulam as condições do campo em laboratório, numa sala preta, é necessário levar em consideração a distância do objeto, a visibilidade e o contraste entre o objeto e o cenário de fundo. Em laboratório, o contraste é variado através dos tons de branco e preto utilizados na confecção dos alvos. Na Figura 8 são apresentados diversos alvos utilizados para medida da resolução, que depende fortemente do contraste.

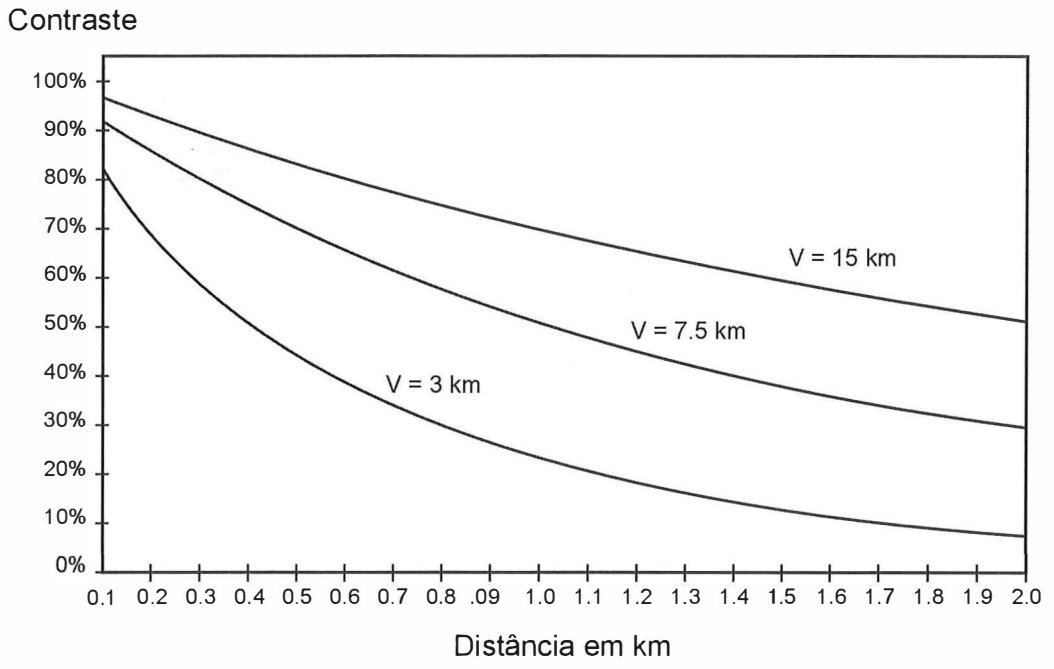


Figura 5: Decréscimo do contraste com a distância do objeto para três valores de visibilidade: 3km, 7.5km e 15km

Iluminação

A iluminação de um ambiente é caracterizada pela iluminância e pelo espectro da radiação luminosa.

No cenário noturno, no qual o combatente necessitará do auxílio do equipamento de visão noturna, observam-se os seguintes valores de iluminância:[2]

Lua	Nuvens	Iluminância (iluminação)
Cheia	Sem nuvens	100mlux
Cheia Metade do brilho Um quarto do brilho	Severamente nublado Levemente nublado Sem nuvens	10mlux
Um quarto do brilho Sem Lua	Severamente nublado Sem nuvens	1mlux
Sem Lua	Com nuvens	< 1mlux

Tabela 3: Iluminação de diversas situações encontradas em campo

O espectro da iluminação durante a noite depende da origem da luz. A luz da Lua é basicamente a reflexão da luz solar e tem aproximadamente o mesmo espectro, com um valor alto entre 450 e 500nm. A luz das estrelas possui um espectro diferente, com um valores altos acima de 1.000nm, conforme observa-se na Figura 6. Estas condições podem ser simuladas em laboratório utilizando-se uma fonte de luz, com uma temperatura de cor específica (uma fonte de luz possui uma determinada temperatura de cor quando seu espectro for o mesmo que o de um corpo negro à mesma temperatura). Para simular a iluminação proveniente da Lua utiliza-se uma fonte com 5.900 kelvins, enquanto que para a luz das estrelas utiliza-se uma fonte de tungstênio com 2.860 kelvins.

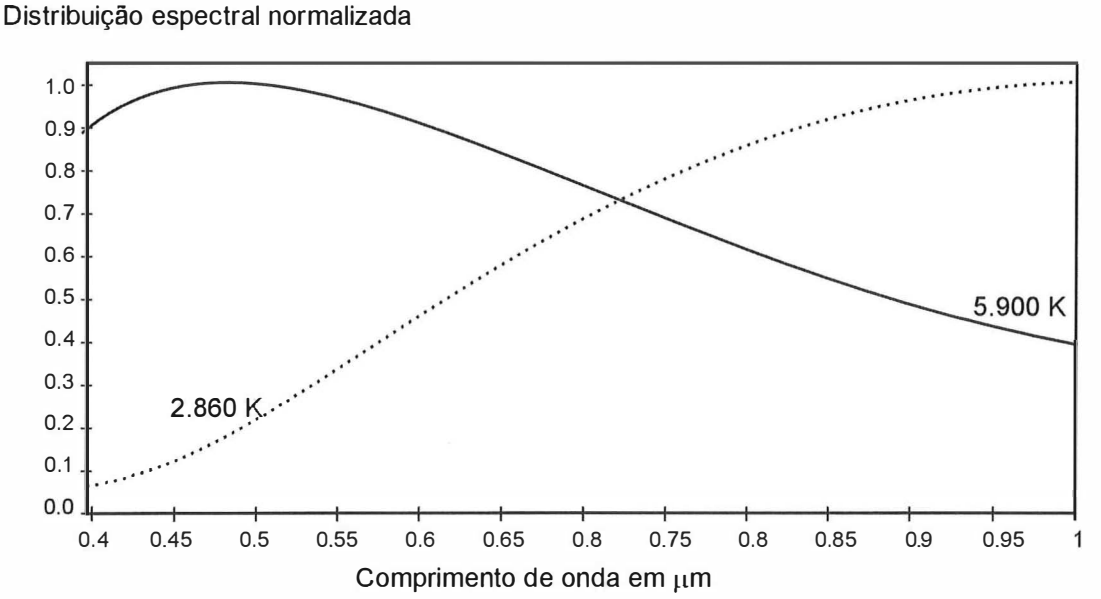


Figura 6: Espectro de uma fonte de 2.860K e de 5.900K

Alcance

Uma das características mais importantes de um equipamento de visão noturna é o seu alcance, pois ele determina a sua máxima distância de utilização.

O alcance depende de diversos fatores:

– Condições ambientais: condições de iluminação do ambiente. Um cenário com Lua Cheia proporcionará um alcance bem maior do que um sem Lua e com o céu encoberto. Algumas das situações de iluminação foram mencionadas na Tabela 3; condições de visibilidade. Um cenário livre de fumaça ou neblina proporcionará um alcance bem maior do que aquele

com névoas. Na Figura 5 pode ser observada a influência da visibilidade no contraste do objeto, e por conseguinte no alcance.

- Características do objeto: dimensões do objeto. Observar um carro de combate difere bastante de observar um homem; contraste do objeto com o plano de fundo. Num cenário de vegetação, uma casa pintada de branco ressaltará bem mais do que um carro de combate camuflado. Na Figura 4 foi observado que materiais diferentes têm refletâncias distintas.
- Grau de exigência quanto à qualidade e definição do que se deseja observar. É possível classificar a percepção em três atitudes:[2]
  - detectar – capacidade de perceber a presença de algo;
  - reconhecer – capacidade de diferenciar um grupamento amigo de um inimigo;
  - identificar – capacidade de reconhecer, por exemplo, o tipo de carro de combate.

Para uma dada configuração, determinada pelos fatores descritos acima, o alcance dependerá diretamente da resolução e da relação sinal-ruído do equipamento (que por sua vez varia com a raiz quadrada da relação entre a sensibilidade e o fator de ruído).[3]

Com os equipamentos de visão noturna disponíveis no mercado, é possível, por exemplo, reconhecer um homem (ou um objeto com 0.9 x 0.9m²) a uma distância de 125m e um alvo de 2.3 x 2.3m² a 300m, quando iluminados com 1mlux, contrastando 95% em relação ao cenário de fundo. Vale ressaltar que na prática um contraste de 95% não é facilmente encontrado. Por isto, na Tabela 2 o alcance para reconhecer um homem a 1mlux foi de apenas 80m.

Resolução

A resolução é a capacidade do equipamento de definir detalhes, distinguir objetos próximos uns dos outros e identificar alvos a grandes distâncias. Ela pode ser medida e especificada de duas formas: uma é através da resolução limite, e a outra é através da curva denominada MTF (*Modulation Transfer Function*, que em português significa função de transferência de modulação).

Independentemente do método utilizado, é importante ter em mente que a resolução depende da posição em relação ao centro do campo de visão do equipamento. Quanto mais afastado do centro a resolução tende a degradar.

Existe uma relação direta entre a capacidade de um equipamento de perceber um objeto e a de distinguir listras pretas e brancas superpostas a ele, conforme ilustrado na Figura 7. Pode-se afirmar então que se um equipamento for capaz de distinguir um certo número de listras, então ele também será capaz de perceber com uma certa definição o objeto em questão.

A Tabela 4 apresenta a quantidade de pares de linhas (lp) necessária para as condições de: detecção, reconhecimento e identificação.

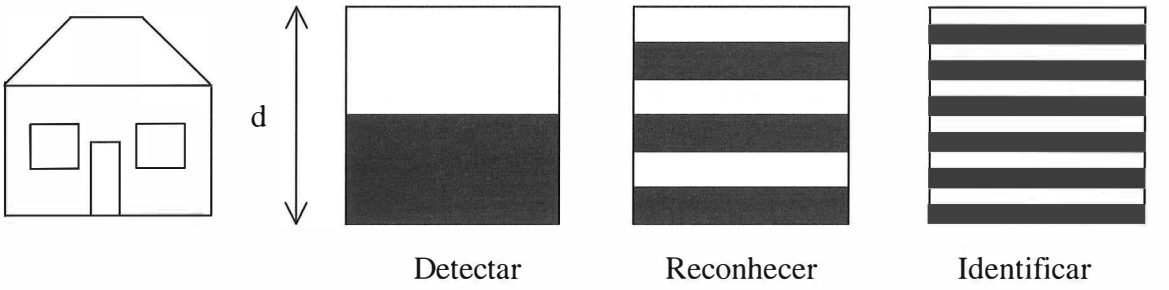


Figura 7: Correspondência entre a quantidade de pares de linhas e o objeto observado

Grau de exigência	Número de pares de linhas necessários
Detectar	1
Reconhecer	3 a 4
Identificar	6 a 8

Tabela 4: Quantidade de pares de linhas que devem ser distinguidos num alvo quando se pretende detectar, reconhecer ou identificar um objeto

A extensão angular (a), em mrad, de um objeto pode ser calculada aproximadamente pela equação (3), dividindo-se a dimensão (d), em metros, do objeto pelo seu alcance (D), em quilômetros.

$$\alpha(\text{mrad}) = \frac{d(\text{m})}{D(\text{km})} \qquad (3)$$

O número de pares de linhas (n) capazes de serem distinguidos dividido pela extensão angular fornece a resolução em lp/mrad. O inverso deste valor fornece a resolução em mrad/lp.

Portanto, a resolução em mrad/lp pode ser obtida pela equação (4),

$$\text{Resolução}(\text{mrad/lp}) = \frac{\alpha(\text{mrad})}{n(\text{lp})} \qquad (4)$$

Para exemplificar considere que se deseja identificar um homem com 1,80m de altura distante 200m. O valor mínimo de resolução do equipamento de visão noturna a ser utilizado para este fim pode então ser estimado. Supondo-se que o alvo tenha o mesmo contraste que o do

homem, que as condições de iluminação sejam equivalentes ao do cenário real, e que a visibilidade seja ideal, observa-se pela Tabela 4, que para identificar são necessários pelo menos seis pares de linhas. Desta forma, pelas equações (3) e (4) obtêm-se que a resolução deveria ser no mínimo 1.5mrad/lp.

Resolução Limite

A resolução limite dos sistemas ópticos de visão noturna é normalmente medida em mrad/lp (miliradianos por linhas pares), com o auxílio de um alvo padrão (com um contraste definido) iluminado com uma fonte de luz calibrada.

O padrão USAF-1951 (*United State Air Force*) é amplamente utilizado na indústria para teste de desempenho de resolução e de contraste de diversos equipamentos e atende aos requisitos da norma MIL-STD (*Military Standard*) -150A, Seção 5.1.1.7. Ele consiste em grupos de listras verticais e horizontais de diversos tamanhos, proporcionais à raiz sexta de dois ($\sqrt[6]{2}$). O padrão negativo (com fundo mais escuro do que as listras) é utilizado para testar colimadores e outros equipamentos de teste iluminados. O padrão positivo é usado para o controle de qualidade de microscópios, lentes fotográficas, equipamentos de visão noturna etc.

Para realizar a medida da resolução limite de um equipamento de visão noturna, coloca-se em uma sala escura um alvo-padrão, iluminado com uma fonte de luz calibrada, localizado a uma determinada distância do equipamento.

Um técnico treinado observa o alvo utilizando o equipamento de visão noturna e procura identificar o menor grupo de listras possível. Este menor grupo de listras fornece a resolução limite. O tamanho do grupo de listras do alvo é conhecido e expresso em pares de linhas por milímetros. Quando o grupo é visto a uma distância D, em metros, a correspondente resolução em lp/mrad é aproximadamente o número de lp/mm multiplicado por D.

Este método possui algumas limitações: é subjetivo, pois depende dos critérios do observador; é discreto, pois trabalha com um número finito de listras; é realizado em condições ideais (de laboratório) e só leva em consideração o desempenho do equipamento na situação limite.

Na Figura 8 são apresentados diversos tipos de padrões utilizados para a medida de resolução limite.

TF - "Modulation Transfer Function"

Na medida da curva de MTF é necessário utilizar um equipamento sofisticado e caro projetado exclusivamente para este fim. É o método mais confiável e amplamente utilizado para se medir o desempenho de diversos equipamentos tais como: lentes, câmeras de vídeo e intensificadores de

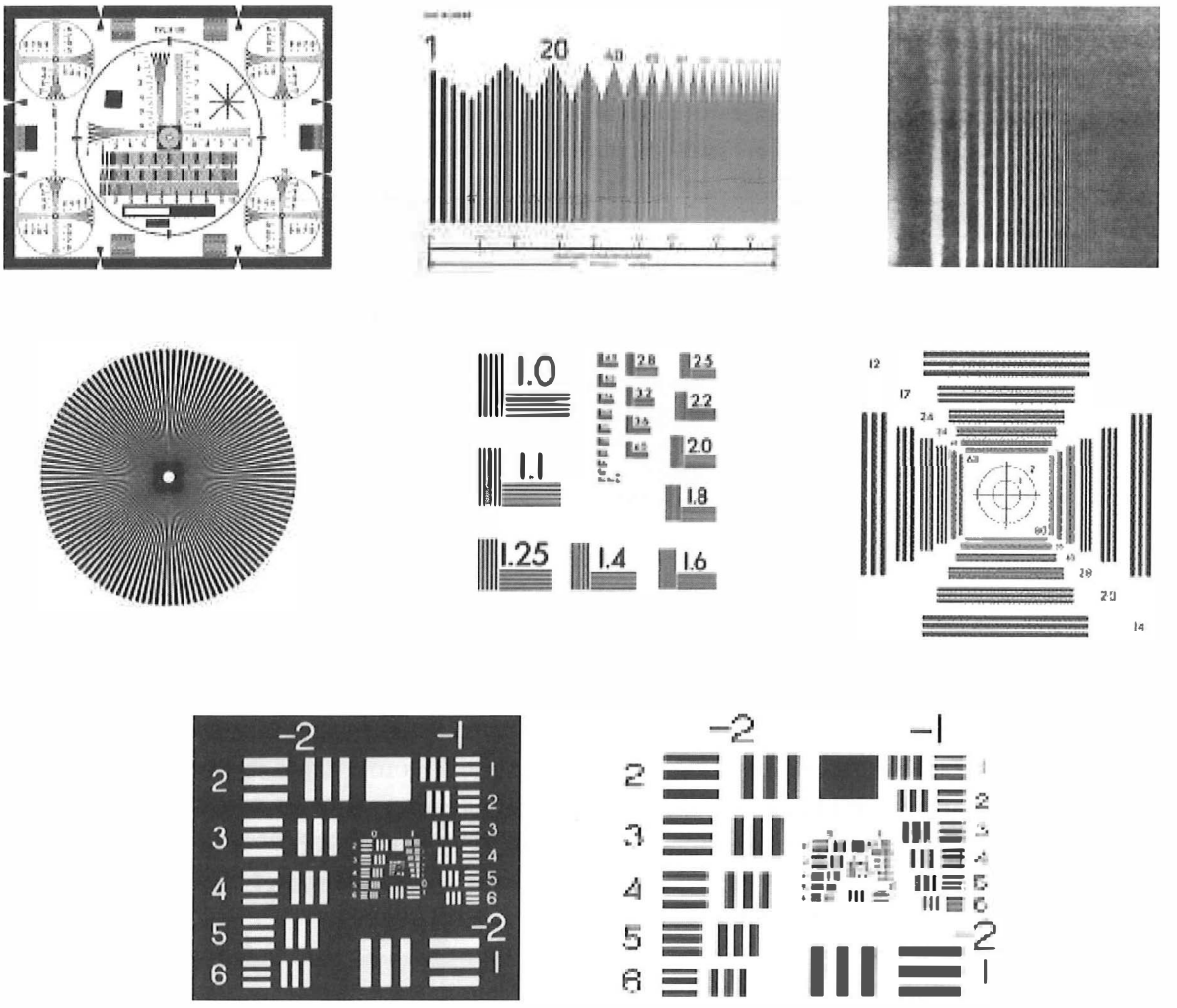


Figura 8: Padrões utilizados na medida da resolução de sistemas ópticos. Da esquerda para a direita estão os seguintes padrões: IEEE, Logarítmico "Sayce", alvo para demonstração da MTF do olho humano, "Sector Star", NBS 1963A, NBS 1952, USAF 1951 negativo e USAF 1951 positivo

imagem.[4] A curva de MTF mostra como varia o contraste com relação à freqüência espacial das listras pretas e brancas.

Os sistemas ópticos podem ser considerados como um filtro linear de freqüências espaciais e possuem uma Função de Transferência Óptica (*Optical Transfer Function* – OTF) complexa. O módulo da Função de Transferência Óptica é a MTF, que representa a capacidade do sistema de transferir para a imagem os detalhes do objeto. A fase da Função de Transferência Óptica é a PTF (*Phase Transfer Function*), que possui valor não nulo para sistemas que apresentam aberração assimétrica.[5]

Para compreender a curva de MTF é preciso entender o conceito de freqüência espacial. Freqüência espacial é a densidade ou taxa de repetição de um padrão regular em unidade de distância, usualmente expresso em número de pares de linhas (ou ciclos) por milímetros.[5]

Na Figura 9 são mostrados dois padrões com freqüências espaciais diferentes.

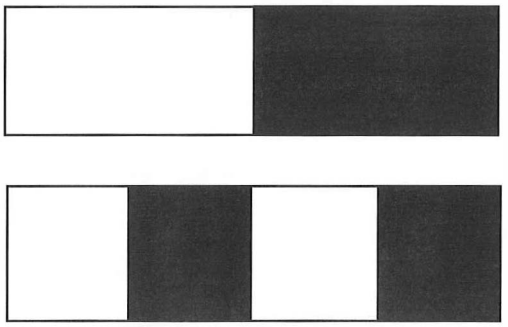


Figura 9: Exemplos de padrões com freqüências espaciais diferentes e 100% de contraste. Na figura de cima encontra-se um padrão (fora de escala) com uma freqüência espacial de 10lp/mm, e o da figura de baixo com 20lp/mm

Teoricamente, a curva que mais bem descreveria os padrões mostrados na Figura 9 seria um trem de pulsos. Coincidindo o zero do gráfico da Figura 10 com o canto inferior esquerdo dos padrões apresentados na Figura 9, o eixo das abscissas corresponde à dimensão horizontal daqueles padrões e o eixo das ordenadas corresponde à modulação da luminância.

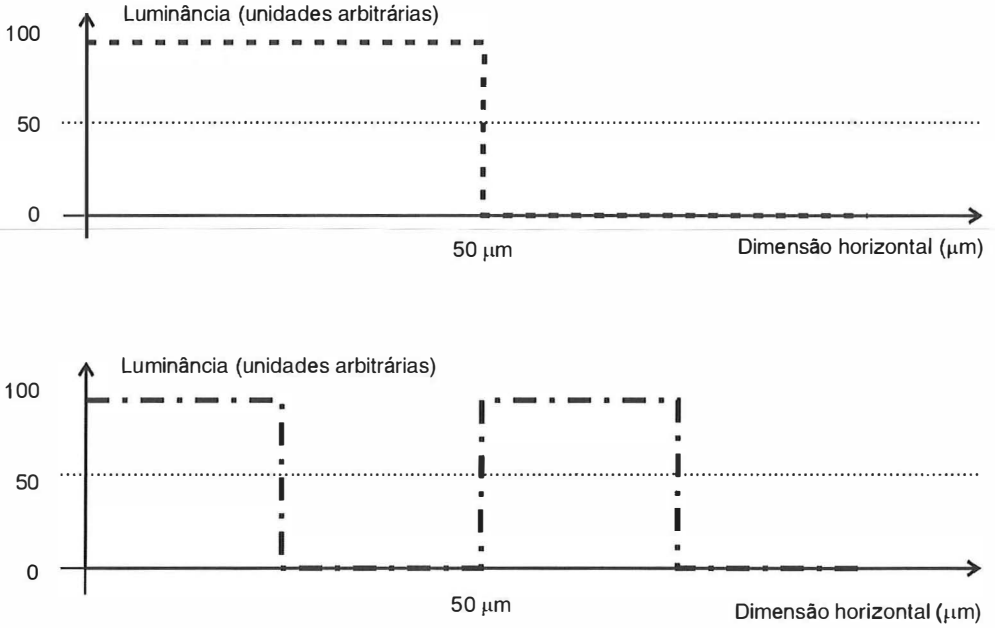


Figura 10: Curva da modulação ideal dos dois padrões mostrados na Figura 9

Após um sistema óptico a imagem que se forma sempre difere do objeto original (mesmo que a magnificação seja 1). Em geral, perdem-se os detalhes sobretudo na região do sistema longe do centro do campo de visão. As partes abruptas do trem de pulsos da Figura 10, por exemplo, ficariam suavizadas e o contraste seria degradado. Os sistemas ópticos comportam-se, em geral, como um filtro passa-baixa de freqüências espaciais.

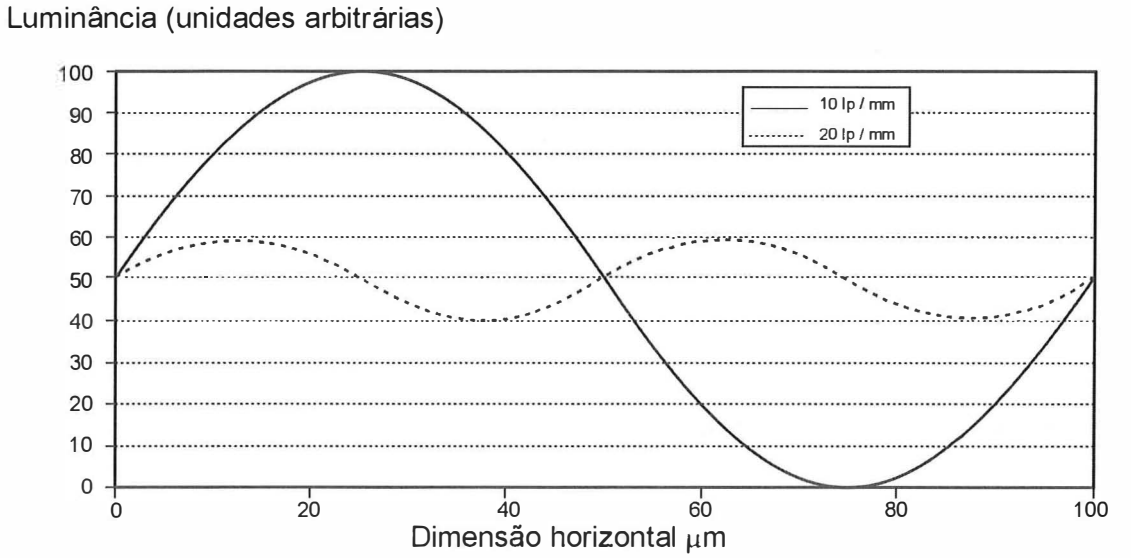


Figura 11: Exemplo de curva de modulação de um sistema real. A linha cheia representa a modulação proveniente de um padrão com baixa freqüência espacial. Enquanto a linha pontilhada representa outro padrão, com freqüência espacial mais alta.

A Figura 11 mostra como o contraste do padrão com alta freqüência espacial é degradado após o sistema óptico.

A curva de MTF de um sistema fornece o contraste da imagem quando visto em sua saída ao se aplicar uma entrada com modulação de 100% de contraste. Este contraste na saída do sistema é medido para diferentes freqüências espaciais. Na Figura 12 encontram-se quatro exemplos de curvas de MTF. A curva A apresenta um desempenho superior ao das demais curvas.

Em geral, quando as listras são grandes e bem espaçadas (freqüência espacial baixa) o contraste tende a se manter em 100%. À medida em que as listras do alvo diminuem e tornam-se mais próximas, o contraste da imagem tende a zero.

A MTF para freqüência espacial baixa (da ordem de 2.5lp/mm) fornece o contraste correspondente a grandes objetos e determina a "clareza" (nitidez) da imagem, e para freqüência espacial alta a pequenos objetos.

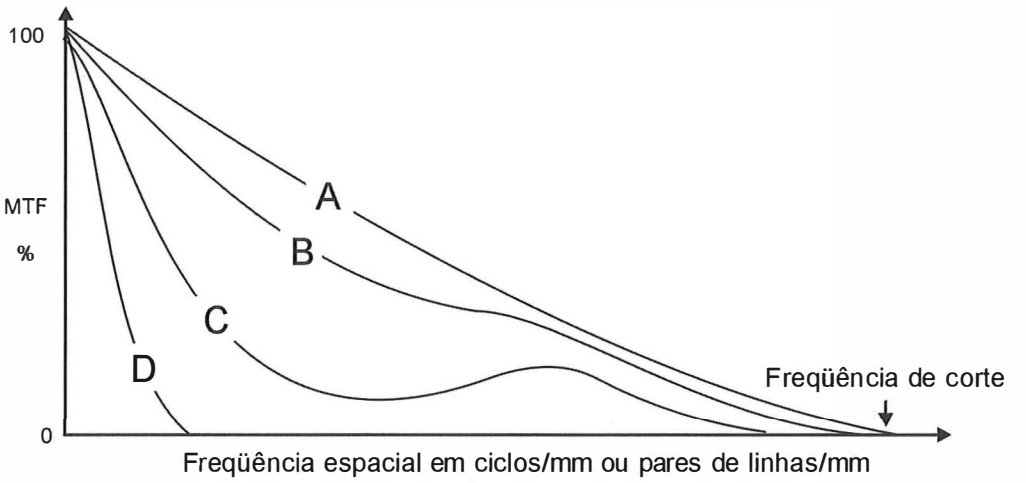


Figura 12: Quatro curvas típicas de MTF

Relação entre Resolução Limite e MTF

Existe uma relação entre a curva de MTF e a resolução limite. A resolução limite é a freqüência espacial para a qual o contraste da imagem é de 2% (assumindo-se que para o olho humano ser capaz de distinguir as listras de um determinado padrão é necessário um contraste de pelo menos 2%). A resolução limite está intimamente relacionada com a curva de MTF nas freqüências espaciais altas. Geralmente coincide com a MTF de 5 a 10%, dependendo do modo pelo qual é medido.

Conhecendo-se o valor da MTF em função da freqüência espacial – MTF(f) de um equipamento é possível calcular o valor da resolução limite. Suponha que a resolução limite seria medida com um alvo de 30% de contraste. Este alvo ao ser visto pelo equipamento terá um contraste 30% menor do que o da curva de MTF(f) (que corresponde a um alvo com 100% de contraste). Em geral, o contraste do objeto após o equipamento é igual ao contraste do objeto vezes a curva MTF(f). Logo, o contraste do alvo após o equipamento será 30% x MTF(f). Como a resolução limite corresponde à freqüência espacial para a qual o contraste da imagem é de 2%, ela pode ser obtida através da relação:

$2\% = 30\% \times MTF(f_{\text{resolução limite}})$

ou

$MTF(f_{\text{resolução limite}}) = 6{,}7\%$

Ou seja, da curva de MTF obtém-se o valor da resolução limite, pelo valor da freqüência espacial correspondente a 6,7%.

É possível que se tenha um contraste ruim em baixa freqüência espacial, e ao mesmo tempo se tenha um valor alto para o limite de resolução.

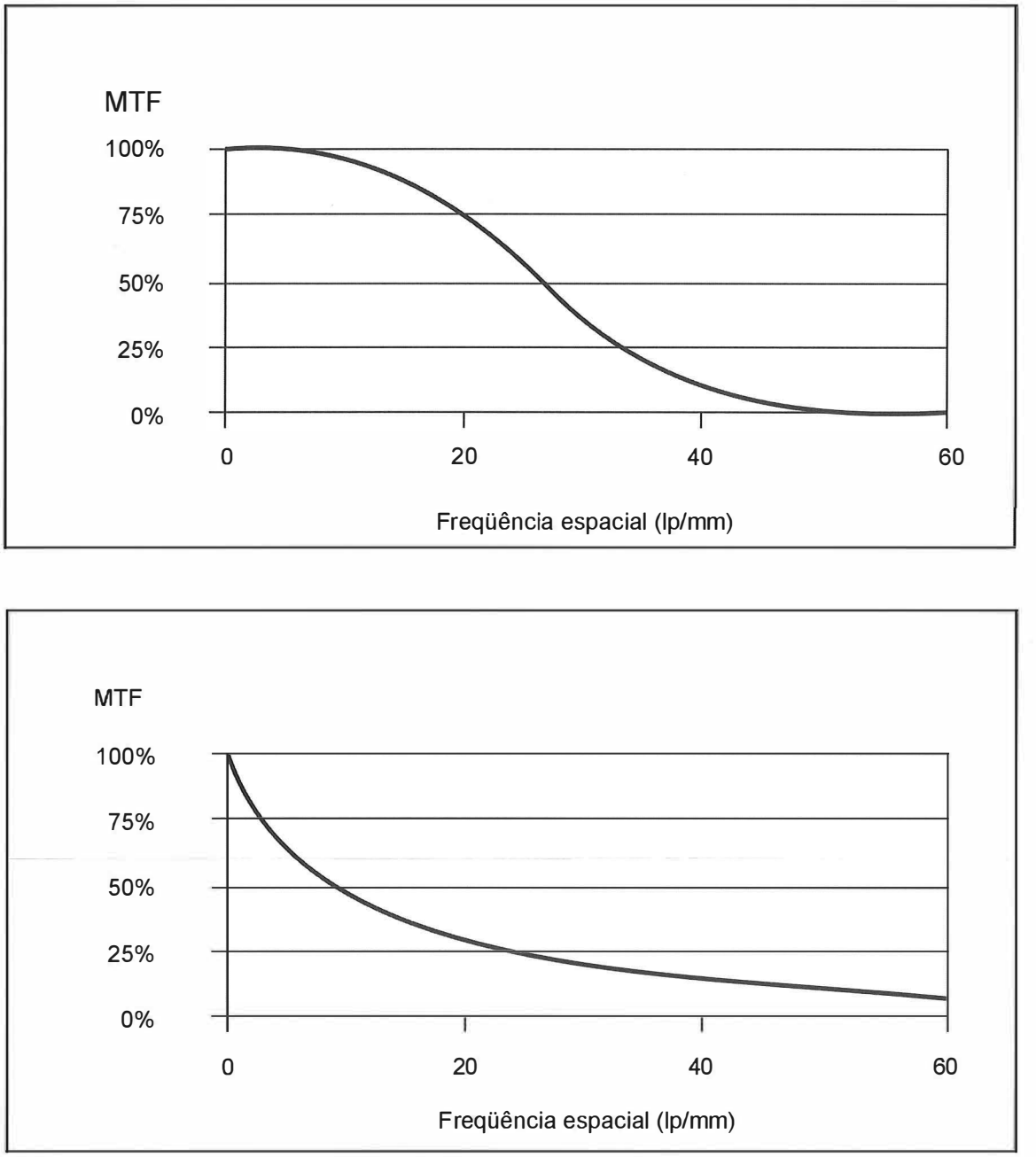


Figura 13: Comparação entre duas curvas de MTF distintas

A primeira curva MTF da Figura 13 é relativamente alta nas freqüências espaciais baixas e cai abruptamente para freqüências espaciais acima de 30lp/mm. Já a segunda curva de MTF cai rapidamente para as baixas freqüências (o que costuma causar uma impressão de imagem embaçada) mas mantém-se a um nível aceitável para a freqüência de 60lp/mm.

Baseado na medida da resolução limite, poderia se concluir que uma imagem formada a partir de um equipamento com a segunda curva de MTF seria mais nítida do que aquela obtida através de um equipamento com a primeira curva. Entretanto, o olho humano percebe a imagem com resolução limite menor como sendo a melhor. Portanto, medida de valor mais elevado para a resolução limite não significa necessariamente uma imagem mais nítida.[6]

Deve-se também ter cuidado com a comparação de curvas de MTF obtidas de diferentes equipamentos. Segundo os técnicos da empresa Delft Electroptics Products B.V. os instrumentos americanos tendem a gerar valores mais altos do que o dos instrumentos europeus (ODETA) para o mesmo tubo intensificador de imagem. É sempre recomendável comparar tubos diferentes utilizando-se o mesmo instrumento de medida de MTF.

INTENSIFICADORES DE IMAGEM

Breve Histórico

Os primeiros equipamentos de visão noturna que surgiram eram denominados ativos, pois, para ser capazes de perceber as imagens, necessitavam iluminar os objetos com uma fonte de luz invisível, no infravermelho. Além de denunciar sua posição, quando observado por um outro equipamento de visão noturna, tinham um alcance bastante limitado.

Surgiram, então, os equipamentos passivos, baseados no princípio de amplificação da luz residual sem a necessidade de iluminação auxiliar. O resíduo de luz existente no cenário era captado e amplificado. O componente responsável pela captação do resíduo de luz, de sua amplificação e posterior conversão em luz visível é denominado *Tubo Intensificador de Imagem* (TII). O TII localiza-se na parte intermediária do equipamento; antes dele está a objetiva e após as oculares.

Nesta classe de equipamentos houve também uma evolução tecnológica que deu origem a diferentes gerações de TII. Surgiram então:[7]

- 1ª geração: introduzida na década de 1960, não utiliza a placa de microcanais, necessita da iluminação da Lua Cheia, com tempo de vida de 2.000h;
- 2ª geração: desenvolvida na década de 1970, introduziu a placa de microcanais, necessita da iluminação de um quarto de Lua, com tempo de vida de 2.500h;
- 2ª geração "plus": melhoramento da tecnologia anterior;
- 3ª geração: desenvolvido na década de 1980, caracterizado pela mudança do material que compõe o fotocatodo do TII, dos usuais triálcalis, para o semicondutor de GaAs (Arseneto de Gálio), necessita apenas da luz das estrelas, com tempo de vida de 10.000h;

• 2ª geração super: aperfeiçoamento da segunda geração em busca do mesmo desempenho que os TII de 3ª geração, mas ainda necessita de alguma iluminação proveniente da Lua, com tempo de vida de 10.000h;

• 4ª geração: já foi apresentado pela empresa Litton norte-americana, em 1999.[7]

A referência[8] deste artigo trata em detalhes da evolução das diversas gerações até a terceira geração.

Óculos e Monóculos de Visão Noturna

Os equipamentos intensificadores de luz residual para uso individual são compostos por: um conjunto de lentes objetivas com foco ajustável (da ordem de 20cm a infinito); um TII (de segunda geração super ou terceira); dois conjuntos de lentes oculares (para o binóculo) ou um (para o monóculo) com ajuste de dioptria (de –6 a +2 dioptrias) e de distância interpupilar (para o binóculo de 51 a 71mm); duas pilhas tipo AA que alimentam o equipamento; um diodo emissor de luz (LED) auxiliar infravermelho (em 880nm) e um circuito eletrônico indicador de bateria fraca e de LED auxiliar ligado.

O campo de visão, em geral, fica em torno de 40° e o peso em torno de 700g. Existem diversos modelos, com formatos diferentes. É possível, por exemplo, adaptar objetivas de 4x e 6x, além da objetiva usual de 1x.

O consumo de corrente é baixo, proporcionando uma autonomia de mais de 100 horas. Para um tubo de segunda geração super iluminado com 0.021mlux, por exemplo, a corrente consumida é de 12mA, mais 15mA ao ligar o LED infravermelho, e mais 5mA para alimentar o LED vermelho indicador de LED infravermelho.

Juntamente com o equipamento de visão noturna podem ser adquiridos inúmeros acessórios, tais como: estojo para transporte, máscara para fixação à cabeça, máscara para fixação ao capacete, tirantes para transporte, flanelas para limpeza de lentes, e outros. Além dos opcionais usuais , é recomendável a aquisição de protetores da parte óptica. Existem dois protetores extremamente úteis e que proporcionam um aumento no tempo de vida dos equipamentos.

O primeiro é a janela de sacrifício, instalada sobre a objetiva. Esta janela tem a finalidade de proteger a lente da objetiva das adversidades do meio, e uma vez danificada é facilmente removível e trocada por nova janela (com um custo bem menor do que o de uma lente objetiva nova).

O segundo é o filtro antiembaçante, instalado sobre a ocular, ou oculares no caso de óculos. Este filtro, como o nome diz, tem a finalidade de evitar o embaçamento das oculares durante o uso do equipamento. Assim como a janela de sacrifício, é facilmente removível, de baixo custo, e proporciona uma proteção à lente da ocular.

Tubos Intensificadores de Imagem

O tubo intensificador de imagem é um cilíndro hermeticamente fechado (com vácuo em seu interior) com dois contatos elétricos e de paredes externas plásticas pretas e as duas faces de

vidro. Existem diversos tamanhos de TII utilizados em diferentes aplicações, com diâmetro útil de por exemplo: 12, 18, 25 e 40mm. Os TII com diâmetro útil de 18mm utilizados em óculos de visão noturna pesam da ordem de 86g, medem aproximadamente 31mm de altura e 43mm de diâmetro. Os TII de monóculos são aproximadamente 10g mais leves, e 6mm menores em diâmetro externo. Existem no mercado diferentes dimensões de TII para diferentes aplicações. Convém ressaltar que estas dimensões estão padronizadas internacionalmente, o que torna possível a intercambiabilidade entre diferentes tubos de vários fabricantes. Mundialmente existem poucas empresas que dominam a tecnologia de TII.

Os TII são compostos por sucessivos componentes em forma de disco de diferentes espessuras, posicionados paralelamente e envolvidos por um circuito eletrônico de formato cilíndrico, protegido pelo cilíndro plástico externo.

O circuito eletrônico de forma cilíndrica é a fonte de alimentação intrínseca do TII, que transforma os 2,7V de tensão das baterias tipo AA em elevadas tensões, da ordem de 6.000V, e possui Controle Automático de Brilho – *Automatic Brightness Control* – ABC (capaz de variar o ganho do TII de modo que o brilho máximo de saída não ultrapasse um determinado valor), que protege o TII contra excesso de luz. Os tubos da empresa Delft Sensor Systems, por exemplo, podem ser expostos a uma iluminação de 0.05lm/mm^2 (5x10^{7}mlux que corresponde à luz do dia) **por no máximo um minuto**. Apesar deste circuito de proteção, é importante ter sempre em mente que: o equipamento não deve ser apontado para o Sol e nem pode ser esquecido ligado.

Os componentes em forma de disco são: a janela de entrada de vidro, o fotocatodo, a placa de microcanais, a tela de fósforo e o cilíndro composto de fibras ópticas. [9,10]

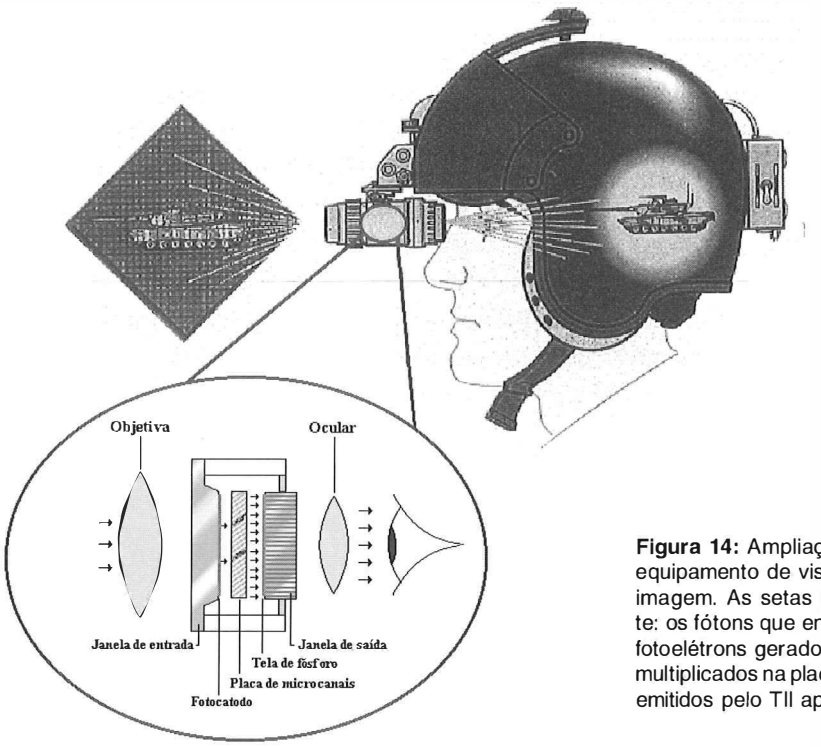


Figura 14: Ampliação da vista em corte de um equipamento de visão noturna intensificador de imagem. As setas representam sucessivamente: os fótons que entram no TII pela objetiva, os fotoelétrons gerados no fotocatodo, os elétrons multiplicados na placa de microcanais e os fótons emitidos pelo TII após a ocular.

A **janela de entrada** é um vidro capaz de transmitir toda a luz na faixa desde o visível até o infravermelho próximo.

O **fotocatodo** é a parte mais crítica do TII. Os tipos mais utilizados atualmente são de ligas triálcalis nos de 2ª geração e de GaAs (Arseneto de Gálio) nos de 3ª geração. É polarizado com forte potencial negativo (-1.100V).

Nos TII de terceira geração, existe um filme de Al_2O_3 entre o fotocatodo e a placa de microcanais denominado de barreira de íons.

A **placa de microcanais** de um TII de segunda geração super de 18mm de diâmetro útil é composta por um disco de material isolante (vidro ou alumina) com 25mm de diâmetro e 0,5mm de espessura que contém milhões de pequenos canais cilíndricos (de 12 microns de diâmetro) perfurados litograficamente. Nos TII de terceira geração o diâmetro dos microcanais é de 6mm. A superfície interna dos microcanais é recoberta de material semicondutor. Estes microcanais são todos paralelos entre si e têm uma pequena inclinação em relação ao eixo principal do disco. É também polarizado com forte potencial negativo (-900V).

A **tela de fósforo** é onde se forma a imagem, que pode ser verde ou amarela dependendo do tipo do fósforo (tipo P20, P43, P45, P46, P47), e é polarizada com 6.000V.

A **janela de saída** é um cilíndro de 5mm de espessura fabricado com milhares de fibras ópticas compactadas em forma de padrões hexagonais que podem ser arranjadas de duas formas: direta ou invertida (torcida). Na forma direta a imagem sai no mesmo sentido que entrou, enquanto que na invertida a imagem se inverte. Esta janela funciona como um conjunto de lentes e tem a vantagem de ser mais compacta, leve e adequada ao tipo de encapsulamento do TII (a vácuo). Existem ainda os tubos denominados ICCD (*Intensifier Charge Coupled Device*), nos quais a janela de fibras ópticas de saída é acoplada a um CCD (*Charge Coupled Device*), o que possibilita a exibição da imagem em telas de vídeo.

Funcionamento do TII

Os intensificadores de luz baseiam-se no efeito fotoelétrico demonstrado por Albert Einstein em 1905, no qual um fóton ao incidir sobre determinados materiais é capaz de provocar a emissão de um elétron, denominado fotoelétron. Este efeito fotoelétrico ocorre justamente no fotocatodo.

Portanto, a luz (fótons) que chega(m) ao fotocatodo é(são) convertida(os) em fotoelétrons. Estes fotoelétrons são acelerados pelo campo elétrico e para os TII da 2ª geração em diante são multiplicados na placa de microcanais.

Esta multiplicação de elétrons ocorre da seguinte forma: o campo elétrico existente entre o fotocatodo e a placa de microcanais direciona os elétrons para a placa, de modo que ao entrarem nos microcanais colidem com as paredes semicondutoras. Esta colisão gera elétrons secundários que caminham dentro dos microcanais sob influência de um intenso campo elétrico aplicado ao longo dos microcanais. Mais colisões geram mais elétrons e este efeito de avalanche produz o ganho (amplificação) do TII.

Quando alcançam o final da placa de microcanais, os elétrons são acelerados através de uma pequena separação até atingirem a tela de fósforo. Na tela de fósforo os elétrons multiplicados colidem com alta energia e são convertidos em fótons, gerando uma imagem.

Após a tela de fósforo está a janela de fibras ópticas, que conduz a imagem gerada para a posição focal desejada pelo restante do sistema óptico, e, quando necessário, inverte a imagem. Na Figura 15 são mostradas duas imagens típicas obtidas através de uma ocular de um equipamento que utiliza TII.

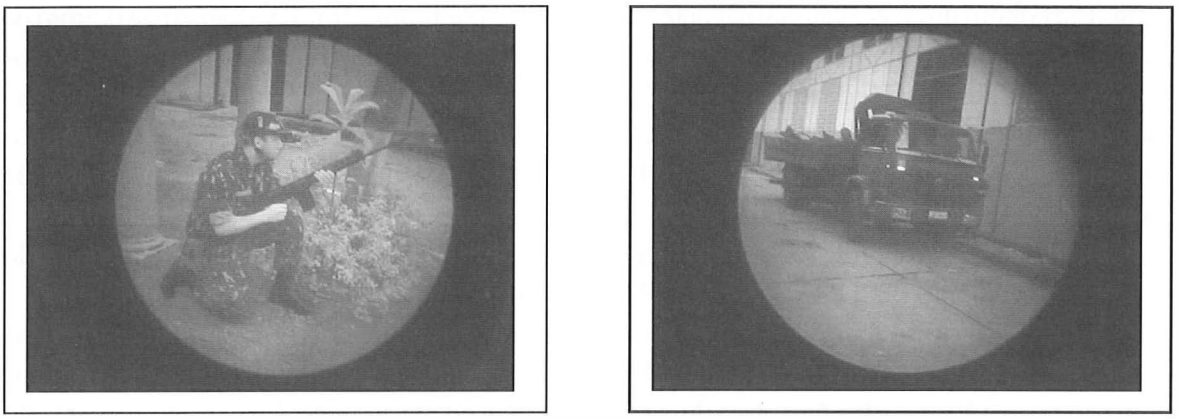


Figura 15: Imagem típica observada através da ocular de um equipamento de visão noturna

Durante as colisões dos fotoelétrons com a parede semicondutora da placa de microcanais e com a tela de fósforo, são produzidos íons positivos. Estes íons positivos são acelerados pelos intensos campos elétricos e podem eventualmente alcançar o fotocatodo. O choque destes íons com o fotocatodo reduz o tempo de vida dos TII. Este bombardeamento de íons no fotocatodo é a principal causa de diminuição da vida útil dos TII.

Nos tubos de 3ª geração existe a barreira de íons de Al_2O_3. Esta barreira é necessária para proteger o fotocatodo de GaAs, que é bem mais sensível do que as ligas triálcalis ao bombardeamento de íons. Apesar de proteger o fotocatodo, esta barreira impede que aproximadamente 40% dos elétrons gerados no fotocatodo atinjam a placa de microcanais.

Considerações sobre o Desempenho dos Tubos Intensificadores de Imagem

A melhor maneira de avaliar o desempenho de um tubo intensificador é testá-lo em campo. Pois o desempenho do tubo irá depender também das condições do cenário, tais como da quantidade de luz, do espectro da iluminação, da refletância do cenário e do contraste entre o objeto e o plano de fundo.

É possível que o tubo que possua melhor desempenho em condições de baixa iluminação não seja a melhor opção para níveis com alta iluminação. Da mesma forma, é possível que, devido às diferenças entre as respostas espectrais, um determinado tubo seja superior no deserto e não o seja numa floresta. Quanto mais eficiente o TII, menor a quantidade de iluminação residual necessária para o seu funcionamento.

Para se caracterizar um tubo são utilizadas, em geral, as seguintes características:[6]

– a geração do tubo (1ª, 2ª, 2ª super, 3ª...);
– o ganho do tubo intensificador de imagem (cd/m²/lux);
– a sensibilidade do fotocatodo (μA/lm ou em mA/W);
– a iluminação equivalente de fundo (μlux) – *Equivalent Background Illumination* (EBI)
– a relação sinal ruído adimensional – *Signal-to-Noise ratio* (S/N)
– o valor da resolução limite (lp/mm ou lp/mrad) ou curva de MTF; e
– o máximo brilho de saída (cd/m²) – *Maximum Output Brightness* (MOB).

Existem dois regimes de operação dos equipamentos, o do baixa e o de alta iluminação. No regime de baixa iluminação os parâmetros mais relevantes são: a sensibilidade, a EBI e a S/N. Enquanto que no regime de alta iluminação a resolução limite e o MOB são os mais importantes.

O regime de baixa iluminação é também conhecido como *Shot noise limited regime*, ou seja, regime limitado pelo ruído *shot*. Sob o regime de baixa iluminação a resolução limite, e portanto a qualidade da imagem gerada, dependerá da quantidade de iluminação. A níveis bem baixos de iluminação, o fotocatodo não receberá um bombardeamento de fótons (incidência de luz) suficiente para a geração de uma imagem satisfatória para o olho humano. À medida em que a quantidade de luz aumenta, a resolução melhora, pois com o aumento do número de fótons chegando no fotocatodo, a imagem torna-se menos ruidosa.

No regime de alta iluminação, a qualidade da imagem é bem melhor, e pode ser descrita através da resolução e do contraste da imagem, que independerão da intensidade de iluminação que atinge o fotocatodo. Na Figura 16 encontra-se a curva da resolução limite *versus* a iluminância. Observa-se que abaixo de 0.05mlux a resolução limite (qualidade da imagem) depende diretamente da iluminância, e que acima de 0.5mlux a resolução limite assume um valor constante. A parte da curva com um valor constante de resolução limite caracteriza o regime de alta iluminação.

Valores típicos da resolução limite, medida em laboratório com o padrão USAF, de tubos de segunda geração super são apresentados da Tabela 5.

Iluminância no alvo (mlux)	Resolução (contraste de 85 %) (mrad/lp)
30	1.15
1	1.7
0.1	2.85

Tabela 5: Valores típicos da resolução limite para tubos de segunda geração super

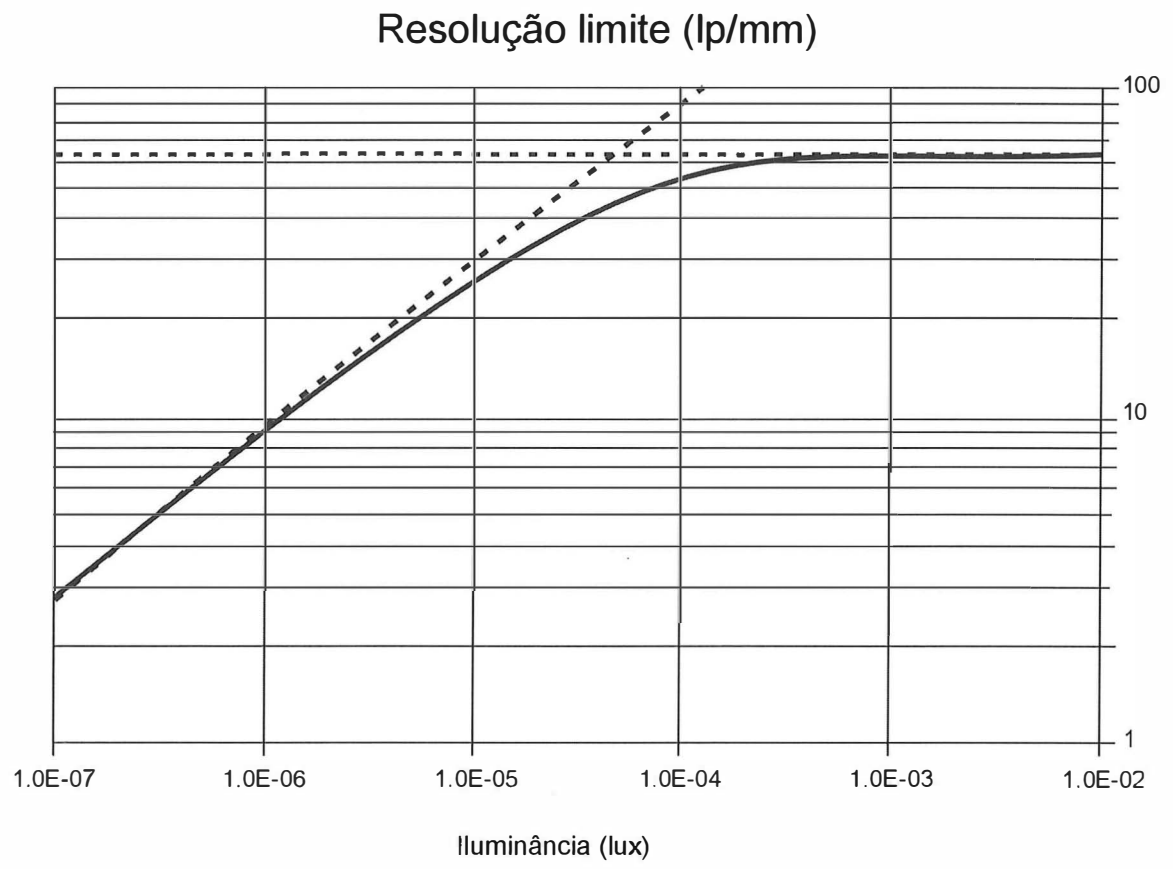


Figura 16: Resolução limite como função da iluminância

Regime de Baixa Iluminação

No regime de baixa iluminação, a imagem gerada pelo tubo intensificador consiste de chuviscos (ruídos) de luz, não sendo o olho humano capaz de formar uma imagem bem definida.

À medida em que a iluminação decresce, o ruído passa a dominar a imagem. Portanto, neste regime o ruído deve ser tratado com atenção.

Convém lembrar que o ruído depende da raiz quadrada do nível de iluminação, de modo que, aumentando o nível de luz de um fator de 4 irá produzir uma redução do ruído de um fator de 2.

Isoladamente o **ganho** de um TII, definido como sendo a relação entre a luminância gerada na tela de fósforo (em cd/m^2) e a iluminância que atinge o fotocatodo (em lux), não pode ser considerado um parâmetro determinante do seu desempenho no regime de baixa iluminação. Acima de um determinado nível, confortável aos olhos, o aumento do ganho não irá contribuir para a melhoria do desempenho. Do ponto de vista de ruído, o aumento do ganho não tornará a imagem menos ruidosa, pelo contrário, o ganho contribuirá para o aumento do ruído.

Existem várias fontes de ruído no TII:

1 – *Na conversão de fótons em elétrons e de elétrons em fótons*

No fotocatodo, nem todos os fótons que o atingem são capazes de gerar um elétron. A eficiência quântica dos fotocatodos é da ordem de 10 a 30%. Portanto, apenas uma pequena quantidade dos fótons contribuem de fato na geração da imagem, o restante contribui para o aumento do ruído. Na tela de fósforo também há geração de ruído na conversão elétrons-fótons.

O parâmetro que descreve a eficiência com a qual o fotocatodo é capaz de transformar elétrons em fotoelétrons no fotocatodo é a **sensibilidade**. A sensibilidade é expressa pela relação entre a corrente gerada (quantidade de elétrons gerados por unidade de tempo) e a quantidade de fótons incidentes no fotocatodo por unidade de tempo. Quando a sensibilidade é medida utilizando-se uma fonte de luz branca de 2.850K, ela é expressa em mA/lm e é conhecida como sensibilidade luminosa. Quando a sensibilidade é dada em função do comprimento de onda, usualmente em 800 ou 850nm (infravermelho), é expressa em mA/W e conhecida como sensibilidade radiante (ou resposta do fotocatodo).

2 – *Por emissão térmica*

No fotocatodo existe também a emissão térmica de elétrons. Neste caso, elétrons são gerados independentemente da existência de fótons atingindo o fotocatodo. O parâmetro que mede este efeito é a **iluminação equivalente de fundo** (EBI), medida μlux. Como a medida da iluminação equivalente de fundo é feita diretamente em 'lux', é possível comparar este valor, diretamente, com com a iluminação do fotocatodo pelo cenário. Na situação em que o nível de iluminação do cenário for bem baixo, a EBI torna-se significativa e auxilia na degradação da imagem, quanto menor o valor de EBI melhor. Um valor típico de EBI é de 0.2μlux.

3 – *Por armadilhamento de elétrons*

A placa de microcanais adiciona ruído à imagem ao armadilhar alguns dos fotoelétrons gerados no fotocatodo. Estes elétrons armadilhados não serão amplificados e portanto não contribuirão para a formação da imagem. Este problema é acentuado nos tubos de terceira geração devido à barreira iônica. Se por um lado a sensibilidade do fotocatodo de GaAs é bem superior a dos fotocatodos de triálcalis, como pode ser visto na Figura 3, as sensibilidades efetivas de ambos, que leva em consideração o efeito da barreira iônica, tornam-se ao final equivalentes.

O parâmetro que melhor descreve o ruído a baixos níveis de iluminação é a **relação sinal-ruído** (S/N). Em geral, para se medir a S/N utiliza-se uma fonte de tungstênio (2.850K-simulando a luz das estrelas) fornecendo 0.1mlux numa área de 0.2mm no centro do tubo. Devido à quantidade limitada de luz, o brilho de saída do tubo não será constante, e flutuará com o tempo. A S/N é obtida dividindo-se a luminância média pelo desvio padrão da distribuição normal da flutuação. Atualmente, existe no mercado tubos com S/N da ordem de 24 entre os comprimentos de onda de 500 a 800nm. É possível também obter a curva espectral da relação sinal-ruído, como mostrado na Figura 17.

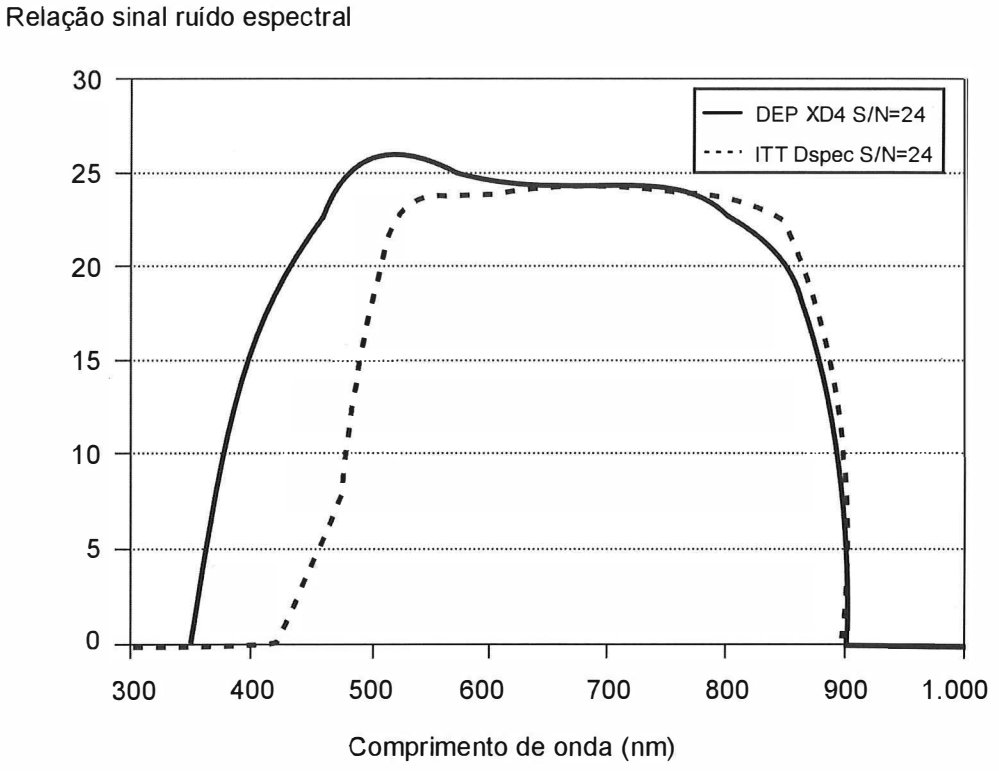


Figura 17: Relação sinal ruído espectral de dois tubos existentes no mercado. A linha cheia corresponde ao tubo XD-4 de 2ª geração super melhorado da empresa Delft Electronic Products, e a linha pontilhada corresponde a um tubo americano de 3ª geração da empresa ITT

Regime de Alta Iluminação

Acima de um determinado nível de iluminação a qualidade da imagem deixa ser tão dependente da relação sinal-ruído e do nível de iluminação (conforme visto na Figura 16). Nesta situação a **resolução** do tubo é o parâmetro que melhor descreve o seu desempenho. A resolução, como já vista neste artigo, pode ser medida de duas formas: pela resolução limite e pela curva de MTF.

Na Figura 18 encontram-se duas curvas de MTF para dois tubos disponíveis hoje no mercado, com resolução limite de 60lp/mm e 64lp/mm.

A resolução total de um equipamento fica limitada à resolução do componente mais crítico. Na Tabela 6 são mostrados os valores da MTF de uma objetiva de 24.1mm de foco, de um TII de segunda geração super, e de uma ocular de 24.52mm de foco. Pode-se observar que o TII é o componente que limita a MTF de todo o equipamento.

	Objetiva	TII	Ocular
10lp/mm	96%	80%	97%
20lp/mm	91%	60%	93%
30lp/mm	84%	40%	89%
40lp/mm	76%	25%	86%

Tabela 6: Valores de MTF de uma objetiva, de um TII e de uma ocular para diferentes valores de frequência espacial

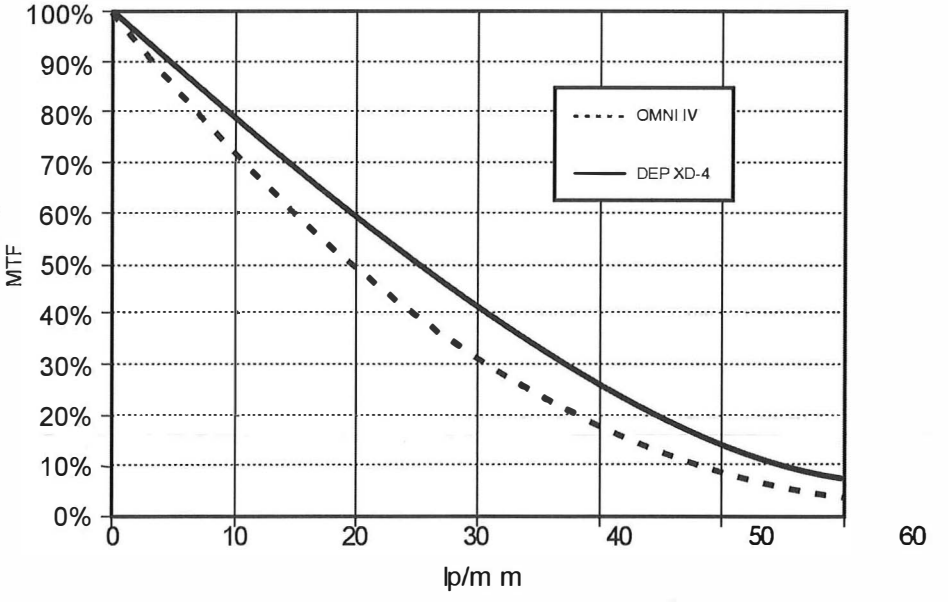


Figura 18: Curva de MTF de dois tubos disponíveis no mercado. A linha cheia corresponde ao tubo XD-4 de 2ª geração super melhorado da empresa Delft Electronic Products com resolução limite de 64lp/mm, e a linha pontilhada corresponde ao tubo americano OMNI IV de 3ª geração, com resolução limite de 60lp/mm

No regime de alta iluminação, a intensidade da tela fosforescente é determinada pelo parâmetro denominado **máximo brilho de saída** (MOB). Este parâmetro é configurado para estar entre 5cd/m^2 e 15cd/m^2, quando o TII é submetido a uma iluminância superior a 10mlux.

Sob alta iluminação, o ganho do TII torna-se dependente do nível de iluminação e assumirá um valor abaixo do preestabelecido para o regime de baixa intensidade, de modo que o valor MOB não seja ultrapassado. No regime de alta intensidade, a relação sinal-ruído S/N (e indiretamente a sensibilidade do fotocatodo) e a iluminação equivalente de ruído EBI não são muito importantes.

Defeitos nos Tubos Intensificadores de Imagem

Como o tubo intensificador é o componente mais importante e mais caro dos equipamentos de visão noturna, convém saber identificar os diversos tipos de defeitos existentes. Existem dois grupos de defeitos: operacionais e cosméticos.[11] Os defeitos operacionais são motivo de rejeição do tubo, enquanto que os defeitos cosméticos em princípio não são motivo de rejeição, a menos que se tornem incovenientes o bastante e indisponibilizem o equipamento para o fim a que se destina.

Defeitos Operacionais

Os defeitos operacionais estão relacionados com a confiabilidade do tubo intensificador de imagem e são uma indicação de instabilidade. Quando identificados devem ser imediatamente rejeitados. Eles aparecem na forma de sombras, brilhos nas bordas, e operação intermitente.

1) Sombras – se aparecerem sombras nas bordas do tubo, é uma indicação de degradação do tubo (do fotocatodo) causada por um defeito no sistema de selagem a vácuo. Este tipo de sombra é bem escura, não se consegue enxergar através dela, delimita uma área de alto contraste, e sempre se inicia nas bordas e pode migrar para o centro, eventualmente cruzando a imagem.

2) Brilho nas bordas – é uma área brilhante, algumas vezes cintilante, localizada nas bordas do tubo. Esta área brilhante pode ser causada por pontos de emisão (ou uma série de pontos de emissão) nas bordas do campo de visão. Pode, também, ser decorrente de um defeito na tela de fósforo, que permite a realimentação (ou retorno) da luz para o fotocatodo. Para verificar se existe este tipo de defeito, bloqueie a entrada de luz cobrindo as lentes e certifique-se de que a área brilhosa ainda está presente. Caso esteja presente o tubo pode estar com este defeito.

3) Operação intermitente – caso a imagem fique oscilando, ou acendendo e apagando certifique-se de que não há fios soltos, ou algum outro tipo de mau contato. Caso tudo esteja em ordem, então o tubo está com defeito.

Defeitos Cosméticos

Os defeitos cosméticos são, em geral, resultantes de imperfeições que surgem durante o processo de fabricação, e que não comprometem a confiabilidade do tubo intensificador de imagem.

1) Manchas brilhosas – são imperfeições na imagem decorrentes da má fabricação do filme sobre a placa de microcanais. São áreas pequenas, não-uniformes, e podem ou não piscar. Em geral estas áreas somem quando se bloqueia a entrada de luz.
2) Pontos de emissão – são pontos com posições fixas fora das bordas do tubo, estáveis ou piscantes que não desaparecem quando se bloqueia a entrada de luz.
3) Pontos pretos – são imperfeições cosméticas no tubo intensificador (decorrentes, por exemplo, de fibras ópticas rompidas) ou são sujeiras entre as lentes. São aceitáveis, desde que não interfiram demasiadamente na imagem e que não excedam um número máximo tolerável. Existem normas que definem a quantidade máxima de pontos pretos aceitáveis.
4) Padrões hexagonais fixos (*Honeycomb*) – é considerado um defeito cosmético e é caracterizado por um padrão de inúmeros hexágonos em toda a imagem que surgem mais nitidamente em regime de alta iluminação. Este padrão aparece em todos os tubos intensificadores de imagem, quando o nível de iluminação é intenso o bastante para torná-los visíveis. Eles são causados pela janela de fibras ópticas existente no TII. Em geral, as fibras são agrupadas dentro de uma seção transversal hexagonal, as quais tornam-se visíveis quando o tubo é submetido à alta intensidade de iluminação. As bordas hexagonais são mais brilhosas do que o interior dos hexágonos.
5) Padrão de hexágonos com bordas pretas e em apenas parte da imagem (*Chicken Wire*) – é um padrão irregular de hexágonos de linhas finas, pretas em parte da imagem.

Tempo de Vida

O tempo de vida dos equipamentos de visão noturna está limitado ao tempo de vida do TII. Em geral, os TII "morrem" antes do tempo estimado, atualmente em torno de 10.000h, devido à má utilização. O tempo de vida de 10.000h é definido como sendo o tempo após o qual o desempenho do TII degrada 50% do seu valor original. De acordo com os técnicos da empresa DEP:

- ligar e desligar o equipamento repetidas vezes não estraga o TII;
- apontar o equipamento para laser, ou para a luz solar direta, mesmo desligado, danificará o fotocatodo irreversivelmente;
- utilizar o equipamento por mais de alguns minutos em ambiente com excesso de iluminação (superior a 500mlux), danificará o fotocatodo, devido ao bombardeamento constante de íons (principalmente se for um tubo de 2ª geração, que não possui a barreira de íons). Caso o excesso de luz dure pouco tempo, o TII não sofrerá qualquer dano.

– manter o TII armazenado adequadamente (e livre de iluminação) por alguns anos não degrada o seu desempenho; e
– manter o TII ligado por várias horas apontado para uma mesma imagem danificará a tela de fósforo.

Deve-se ter em mente que de acordo com a MIL-I-49052 par. 4.8, pode-se esperar (é aceitável), que depois de 100 horas de operação haja uma diminuição de resolução de:[12]

– 20% a 30mlux e 85% de contraste;
– 40% a 1mlux e 85% de contraste.

Desta forma, dependendo da quantidade de horas de operação, a resolução de um equipamento de visão noturna diminuirá. A principal causa de degradação dos TII é o bombardeamento de íons sobre o fotocatodo. Os tubos de 3ª geração (ou TII que possuam um dispositivo que barre os íons) degradam menos e mantêm o seu nível de desempenho por mais tempo que os tubos de 2ª geração super.[13]

Valores Típicos das Especificações Técnicas de Alguns dos TII Disponíveis no Mercado

Especificação	Resolução limite (lp/mm)	Relação sinal-ruído @108μlux	Ganho do TII (cd/m²/lux @21μlux	Tempo de vida (horas)	Sensibilidade do fotocatodo (μA/lm)
2ª geração [1]	28	12	20.000/π	10.000	240
2ª geração "plus" [1]	36	18	30.000/π	10.000	350
2ª geração super [1]	50	21	50.000/π	10.000	700
3ª geração – Omni II [2]	36	14	30.000/π	10.000	800
3ª geração – Omni III[2]	45	18	30.000/π	10.000	1.200
3ª geração – Omni IV[2]	64	21	55.000/π	10.000	1.800

1 – dados fornecidos pela empresa Delft Sensor Systems
2 – Tubos intensificadores norte-americanos.

COMENTÁRIOS FINAIS

Independente do tipo de tecnologia empregada, o esforço tem sido no sentido de tornar o equipamento de visão noturna economicamente mais acessível, mais leve, menor, mais ergonométrico, mais confiável, com campo de visão maior, com alto desempenho sob condições de iluminação cada vez menores e que possa ser utilizado tanto de noite quanto de dia.[14]

A maioria dos equipamentos fabricados atualmente é projetada de modo a aceitarem tanto os tubos de segunda geração quanto os de terceira.[13]

É possível gerar uma imagem estereoscópica utilizando-se a tecnologia de intensificadores. Com isto, torna-se possível ter a percepção de profundidade, essencial para pilotos de helicóperos, ou para dirigir uma viatura. Nestes casos, os modelos acoplados aos capacetes são os mais indicados. Os equipamentos que dispõem de apenas um tubo intensificador de imagem **não** são capazes de transmitir a informação de fase da onda luminosa para os dois olhos, não percebendo os objetos em três dimensões. Portanto, monóculos e óculos com um TII percebem os objetos em duas dimensões. É possível, com uma adaptação mecânica posicionar dois monóculos e produzir um equipamento capaz de gerar uma imagem esteroscópica. Entretanto, o peso deste equipamento seria da ordem de 1.3kg.

As duas grandes empresas norte-americanas ITT e Litton fizeram uma experiência utilizando o equipamento HNV-1, juntamente com o HOPROS, ambos da empresa européia Delft Sensor Systems. O HNV-1 é um equipamento de visão noturna holográfico, com visão periférica e que opera com qualquer nível de iluminação. O HOPROS (*Head mounted Optical Projection System*) é um equipamento capaz de projetar informações sobre uma tela. Foram associados os dois equipamentos e instalados dois tubos de terceira geração originando o HNV-3. Com o HNV-3, é possível operar tanto à noite quanto à luz do dia, pois o equipamento holográfico superpõe as imagens geradas pelos TII sobre a imagem obtida diretamente do mundo real. Como são utilizados dois tubos, tem-se uma visão estereoscópica. E com o sistema HOPROS é possível visualizar instruções superpostas à imagem.[13]

A empresa Delft Sensor Systems já desenvolveu um modelo de tubo intensificador de imagem capaz de gerar uma imagem colorida (com duas cores), diferente da imagem usualmente encontrada de diferentes tons de verde. Segundo os técnicos, a imagem colorida permite uma redução de 60% nos erros e incertezas da imagem. Com um intensificador monocromático é possível confundir a vegetação (verde) com o mar (azul).

Poucas empresas no mundo dominam o processo de fabricação dos TII, e os norte-americanos, até 1998, detinham a exclusividade na produção dos TII de terceira geração. Os fabricantes europeus detêm o conhecimento tecnológico para fabricação de TII de terceira geração há uma década. Entretanto, a ausência de um grande mercado interno não tornava compensatória a relação custo-benefício. Por isso, ao invés de investirem na terceira geração eles partiram para melhorias na segunda geração, o que originou o segunda geração super e novas versões do segunda geração super.

Mesmo os fabricantes americanos admitem que quase não há diferença entre os TII atuais de terceira e de segunda geração. Segundo eles, a vantagem do terceira geração aparece com o uso, pois o fotocatodo dos TII de segunda geração super torna-se gradativamente menos sensível, conforme explicado neste artigo.

A empresa Litton Industries, norte-americana, já disponibilizou no mercado a 4ª geração de TII. A principal diferença entre a 4ª e a 3ª gerações é a inexistência da barreira de íons. Ambas utilizam o semicondutor GaAs no fotocatodo, mas, devido à barreira de íons, a sensibilidade efetiva

dos tubos de 3ª geração fica bastante comprometida. Na 4ª geração descobriu-se uma maneira de eliminar a barreira de íons e ao mesmo tempo manter o fotocatodo protegido contra o bombardeamento de íons, o que aumentou consideravelmente o alcance e a resolução dos equipamentos, sobretudo em condições de baixa iluminação.[13] Além da remoção da barreira de íons outros dois aspectos foram incorporados aos TII de 4ª geração: desligamento automático, em caso de excesso de luz; e eliminador de "halo" (auréola), que surge na imagem com o excesso de luz e que ao ser removida melhora a resolução do TII em torno de pontos muito luminosos na imagem.

Apesar de todos os avanços a que os TII vêm sendo submetidos, esta tecnologia tem suas limitações. O alcance está limitado a centenas de metros, e a utilização está limitada a uma certa condição de iluminação (excesso pode danificar certos tipos de tubos e escassez impede a sua utilização).

CONCLUSÕES

Neste artigo foram abordados alguns dos aspectos que definem o desempenho dos TII utilizados em equipamentos de visão noturna. Não se pretendeu com este trabalho esgotar o assunto, mas sim estimular o intercâmbio do conhecimento técnico através da Revista Militar de Ciência e Tecnologia. Inúmeras questões merecem ser mais bem exploradas, como por exemplo: o desempenho operacional dos intesificadores de imagem no Brasil, a comparação do desempenho entre imageadores térmicos e intensificadores de imagem, os aspectos que definem o desempenho dos imageadores térmicos atuais, a aceitação da 4ª geração de TII, a composição dos fotocatodos dos TII atuais, e uma série de outras questões.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento (IPD) e ao Arsenal de Guerra do Rio (AGR), que proporcionaram a aquisição do conhecimento transmitido neste artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 – O'SHEA, DONALD C. *Elements of Modern Optical Design John Wiley & Sons.* New York, 1985.
2 – Notas de aula do curso ministrado pela empresa Delft Sensor Systems e apostila intitulada *Properties of single lenses and lens groups* – da Delft Sensor Systems, Oudenaarde, Bélgica, agosto de 1999.
3 – *XX1610: the super 2nd generation image intensifier tube*, publicação técnica da empresa Philips, Philips Photonics, Holanda, 1992.
4 – URBEN, K. *High-Tech 'Vision' Test.* Photonics Spectra, Estados Unidos, agosto de 2000.
5 – Catálogo do equipamento EROS da empresa Ealing Electro-Optics plc, Inglaterra.

6 – *Tube performance that matters* (versão 2.0), publicação técnica da empresa DEP-Delft Eletroptics Products B.V., Roden, Holanda, fevereiro de 1999.
7 – STAFF, A.F. *Night Fever-NATO's 1999 Structured Technology Demonstration Showcases Night-Vision Systems*, Armed Forces Journal International, agosto de 1999.
8 – PEREIRA, W. N. *Equipamentos para auxílio a visão em ambiente pouco iluminados: emprego em operações na região amazônica.* Monografia, ECEME, Rio de Janeiro, 1994.
9 – Catálogos da empresa Delft Sensor Systems.
10 – Demenicis, L. *Equipamentos de visão noturna.* ARTÍFICE-Revista Anual do Arsenal de Guerra do Rio, Rio de Janeiro, 2000.
11 – Manual técnico TD-302 dos óculos de visão noturna F5002A da empresa Varo.
12 – Manual básico de oficina de reparos dos óculos e monóculos de visão noturna, modelos LUNOS 1x e MUNOS OS1MKIII, da empresa Delft Sensor Systems.
13 – GOODMAN, G.W. *In the dark of the Night.* Armed Forces Journal International, julho de 1998.
14 – SLEGTENHORST, R. *New Handheld Optronic Systems for Army and Special Forces.* Publicação técnica da empresa Delft Sensor Systems de 1998.

Vive junto a Deus e tudo te parecerá pequeno em comparação com as realidades externas

R. M. M. Cheyne

O ponto de partida do amor consiste em permitir àqueles que amamos serem perfeitamente eles mesmos e não transformá-los para que se ajustem à nossa própria imagem. Caso contrário, amaremos apenas o reflexo de nós mesmos que encontramos neles.

Thomas Merton

Inquietações desnecessárias podem ser silenciadas, se aceitarmos aquilo que não podemos mudar.

Provérbio Popular

ESPECIFICAÇÃO DE ANTENAS DE SHF

*Marcello Praça Gomes da Silva**

INTRODUÇÃO

A primeira antena utilizada na prática é devida ao físico alemão Heinrich Hertz, no ano de 1887, quando fazia suas famosas demonstrações da existência das ondas eletromagnéticas.

É bom lembrar que tais ondas já haviam sido preditas teoricamente pelo também físico James Clerk Maxwell (ver as célebres quatro Equações de Maxwell do eletromagnetismo).

A história da teoria e prática de antenas tem, por conseguinte, pouco mais de uma centena de anos.

Uma antena é um dispositivo que serve como interface (ou região de transição) entre uma onda eletromagnética guiada (por meio de um guia de ondas, cabo coaxial ou fio duplo plano) e o espaço ao seu redor.

A Figura 1 ilustra essa condição de elemento de transição entre uma linha de transmissão e o espaço circundante.

Figura 1: Antena como Interface

Alguns autores definem a antena como um elemento de transição que envolve o espaço livre (= vácuo). Uma tal definição nem sempre é verdadeira, pois a antena, geralmente, está contida na atmosfera (e não no vácuo).

* Engenheiro de Telecomunicações Sênior da NEXTEL Telecomunicações Ltda. E-mail: marcello.praca@uol.com.br.

No caso de uma nave espacial viajando pelo espaço sideral, aí sim a antena se encontraria no vácuo.

De qualquer forma, as antenas possibilitam que os campos elétricos e magnéticos se propaguem das linhas de transmissão para o espaço ao redor (de maneira predeterminada pela geometria da própria antena).

Com a antena realiza-se o casamento entre esses dois meios (linha de transmissão e espaço ao redor) de forma optimizada, tanto na transmissão (TX) quanto na recepção (RX). Assim sendo:

Na transmissão:

Linha de transmissão → Antena → Espaço

Na recepção:

Espaço → Antena → Linha de transmissão

Um princípio fundamental na teoria de antenas é o chamado *Princípio da Reciprocidade*. De acordo com esse princípio, as propriedades de qualquer antena podem ser determinadas, por análise teórica ou por medições, com a antena agindo como elemento transmissor ou como elemento receptor.

Em outras palavras, isto significa que devido à reciprocidade as propriedades observadas na transmissão são igualmente válidas durante a recepção.

Nos diagramas em bloco e/ou esquemáticos, costumamos representá-la com um dos símbolos que são mostrados na Figura 2. Nenhum dos dois símbolos tem preferência sobre o outro (podem ser usados sem qualquer distinção).

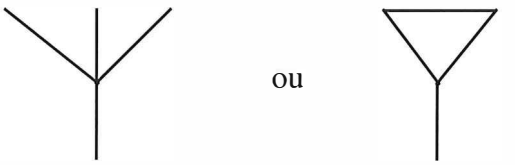


Figura 2: Simbologia Usual

Existem diversos tipos de antenas como as Yagi-Udas (ou simplesmente Yagis), refletores de canto e parabólicos (inteiriços e vazados), em **V**, de fenda (*slot*), helicoidais, cornetas (*horns*), log-periódicas, concha (*shell*), rômbicas, monopólos (ou antenas Marconi) etc.

A Figura 3 nos mostra a representação típica das antenas Yagis (ou "espinha de peixe").

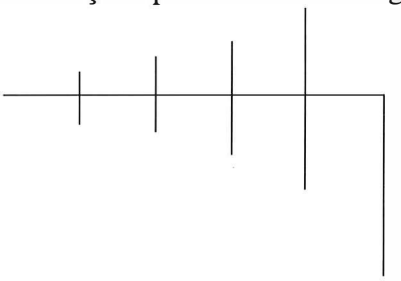


Figura 3: Antena Yagi – Representação

Este trabalho irá analisar as antenas usadas na banda de SHF que se estende desde três até trinta gigahertz. A Tabela 1 mostra a posição da banda de SHF (*Super-High Frequency*) em relação a outras bandas de freqüência (HF, VHF e UHF).

BANDA	NOME POR EXTENSO	LIMITES
HF	High-Frequency	3 a 30MHz
VHF	Very-High Frequency	30 a 300MHz
UHF	Ultra-High Frequency	300 a 3.000MHz
SHF	Super-High Frequency	3 a 30GHz

MHz = megahertz (1 milhão de hertz)
GHz = gigahertz (1 bilhão de hertz)

Tabela 1

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Uma antena para ser plenamente compreendida necessita de um grande número de especificações (tanto elétricas quanto mecânico-ambientais).

Nesse item iremos apresentá-las e discorrer sobre cada uma delas em particular.

Especificações Elétricas

Freqüência ou Banda de Operação

Refere-se à faixa ou banda de operação em freqüência da antena. É normalmente expressa em GHz (gigahertz) ou MHz (megahertz). Vale lembrar que 1GHz vale 1.000MHz.

$$1\text{GHz} = 1.000\text{MHz}$$

O fabricante indica tanto Fmin (a menor freqüência da faixa) quanto Fmax (a maior freqüência da faixa). A largura de faixa BW (*Band Width*) é definida como sendo igual à Fmax – Fmin. Como exemplo, observe a Tabela 2 onde tanto Fmin quanto Fmax são considerados valores típicos.

$$BW = Fmax - Fmin \qquad (1)$$

Fmin (GHz)	Fmax (GHz)	Largura de Faixa (MHz)
0,890	0,960	70
1,7	2,11	410
2,485	2,690	205
4,4	5,0	600
5,925	6,425	500
7,425	7,900	475
17,7	19,7	2.000

Tabela 2

Na Figura 4 temos uma representação da largura de banda BW juntamente com as freqüências limites inferior (= Fmin) e superior (= Fmax).

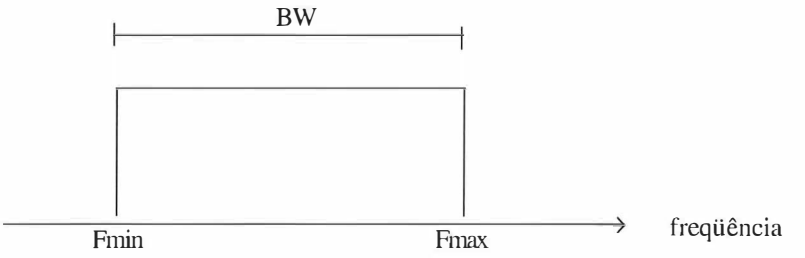


Figura 4: Largura de Faixa

É possível fabricar antenas para operação em mais de uma faixa (ditas multifaixa ou multibanda), por exemplo, 4/6, 4/5/6, 6/11 e 11/14 GHz.

Na faixa de microondas é comum se especificar qual a banda em uso, por exemplo:

C (6/4GHz) – para satélites geoestacionários

X (7/8GHz) – de uso militar

Ku (12/14GHz) – para DBS – *Direct Broadcast Satellite*

Ka (20/30GHz) – ainda experimental

A banda Ka é de uso muito recente, e suas aplicações ainda são em caráter experimental (em função da freqüência ser muito elevada).

Nestas bandas (20/30GHz), a atenuação por hidrometeoros é muito significativa. Ela é causada em particular pelas nuvens e pela precipitação pluviométrica (chuva). Em países frios temos, também, a ação do gelo e da neve (seca e úmida).

É importante seguir a grafia correta do nome das bandas. Todas possuem a primeira letra maiúscula. No caso de haver uma segunda letra, essa será sempre escrita com minúscula (Ku, Ka e nunca KU ou KA).

Coexistem pelo menos três classificações diferentes quanto ao nome da banda e a faixa freqüêncial correspondente em uso (US, JCS oficial e JCS antiga), sendo necessário ter alguma referência adicional para se evitar possíveis má interpretações.

A Tabela 3 nos mostra algumas bandas na faixa de microondas com a interpretação que lhes é dada pela ITU (*International Telecommunications Union* – União Internacional de Telecomunicações), por intermédio do ITU-R (o antigo CCIR – Comitê Consultivo Internacional de Radiocomunicações).

Denominação	Faixa de Freqüência (GHz)
Banda C	6/4
Banda X	8/7
Banda Ku	14/11 e 14/12
Banda Ka	30/20

Tabela 3

Também é importante estudarmos o conceito de "Razão de Banda" (que é simbolizada por RB).

A razão de banda RB é definida como a razão entre Fmax e Fmin (nesta ordem), ou seja:

$$RB = \frac{Fmax}{Fmin} \tag{2}$$

Alguns autores definem a razão de banda RB de uma forma um pouco diferente, ou seja:

$$RB = \frac{Fmax - Fmin}{Fo} \tag{3}$$

$$RB = \frac{BW}{Fo} \tag{4}$$

Onde:

Fo é a freqüência central da faixa de operação,

BW é a largura de faixa (= Fmax – Fmin).

Para calcularmos Fo basta acharmos a média geométrica entre as duas freqüências Fmax e Fmin, ou seja:

$$Fo = \sqrt{Fmax \times Fmin} \qquad (5)$$

Se as freqüências Fmax e Fmin estiverem próximas uma da outra, nós poderemos substituir a média geométrica por uma média aritmética de pesos unitários para Fmax e Fmin.

$$Fo = \frac{Fmax + Fmin}{2} \qquad (6)$$

A Fórmula 6 poderá ser usada quando a largura de faixa BW for pequena.

Vamos, portanto, a um exemplo prático. Seja uma antena projetada para operar na faixa de 450 a 470 megahertz. Teremos, então:

Fmax = 470MHz

Fmin = 450MHz

BW = Fmax – Fmin = 20MHz

$$RB = \frac{Fmax}{Fmin} = 1{,}0444 \text{ (pela primeira definição)}$$

Fo = SQRT [470 x 450] = 460MHz (aproximadamente)

Onde SQRT significa "Raiz Quadrada" (do inglês *Square Root*).

$$RB = \frac{BW}{Fo} = 0{,}0435 \text{ (pela segunda definição)}$$

Note que as duas definições de Razão de Banda (= RB) fornecem dois resultados totalmente diferentes.

Potência Média (Average Power Rating – *APR)*

Indica a máxima potência capaz de ser suportada na porta de entrada da antena, por um longo período de tempo, sem qualquer degradação de seu desempenho elétrico ou mecânico.

Costuma ser expressa em watts (W) ou quilowatts (kW).

1 quilowatt = 1.000 watts

Antenas usadas para radiodifusão (*broadcasting*) chegam a uma potência da ordem de dezenas de quilowatts.

É simbolizada por Pmed ou Pavg (onde "avg" vem do inglês *average*). Alguns fabricantes também especificam a potência de pico (Ppk – do inglês *Peak Power*). Nesse caso, costuma ser também fornecido o valor do "tempo de duração" ou "tempo ativo".

Polarização

É definida como sendo a orientação em que o vetor campo elétrico (= E) oscila através do tempo na direção de irradiação principal. Pode ser:

a) *Linear:*
   – vertical (PLV),
   – horizontal (PLH)
   – diagonal ou inclinada (PLD ou PLI)
b) *Circular:*
   – direita (PCR)
   – esquerda (PCL)
c) *Elíptica:*
   – direita (PER)
   – esquerda (PEL)

As letras "R" e "L" vêm do inglês *right* e *left*, respectivamente. Ver a Figura 5.

Se, por exemplo, a antena de uma certa estação A irradiar segundo a polarização linear vertical (PLV), então a antena receptora desse sinal na estação B deverá estar preparada para recepção em PLV.

Caso esta antena receba um sinal interferente, na mesma faixa de freqüência do sinal de A mas com PLH (polarização linear horizontal), a discriminação de polarização cruzada (XPD – *Cross-Polar Discrimination*) irá se encarregar de atenuar a interferência de um certo número de decibéis.

Quando uma antena estiver intencionalmente transmitindo (ou recebendo) dois sinais, simultaneamente na mesma freqüência, porém, com polarizações distintas, estaremos diante do conceito chamado de "reúso ou reutilização de freqüência".

O reúso faz duplicar a canalização de radiofreqüência (RF) no enlace. Para que o reúso seja possível, nas antenas parabólicas de SHF, é necessário que o XPD seja pelo menos igual a trinta decibéis.

XPD mínimo = 30 decibéis (para permitir o reuso em SHF)

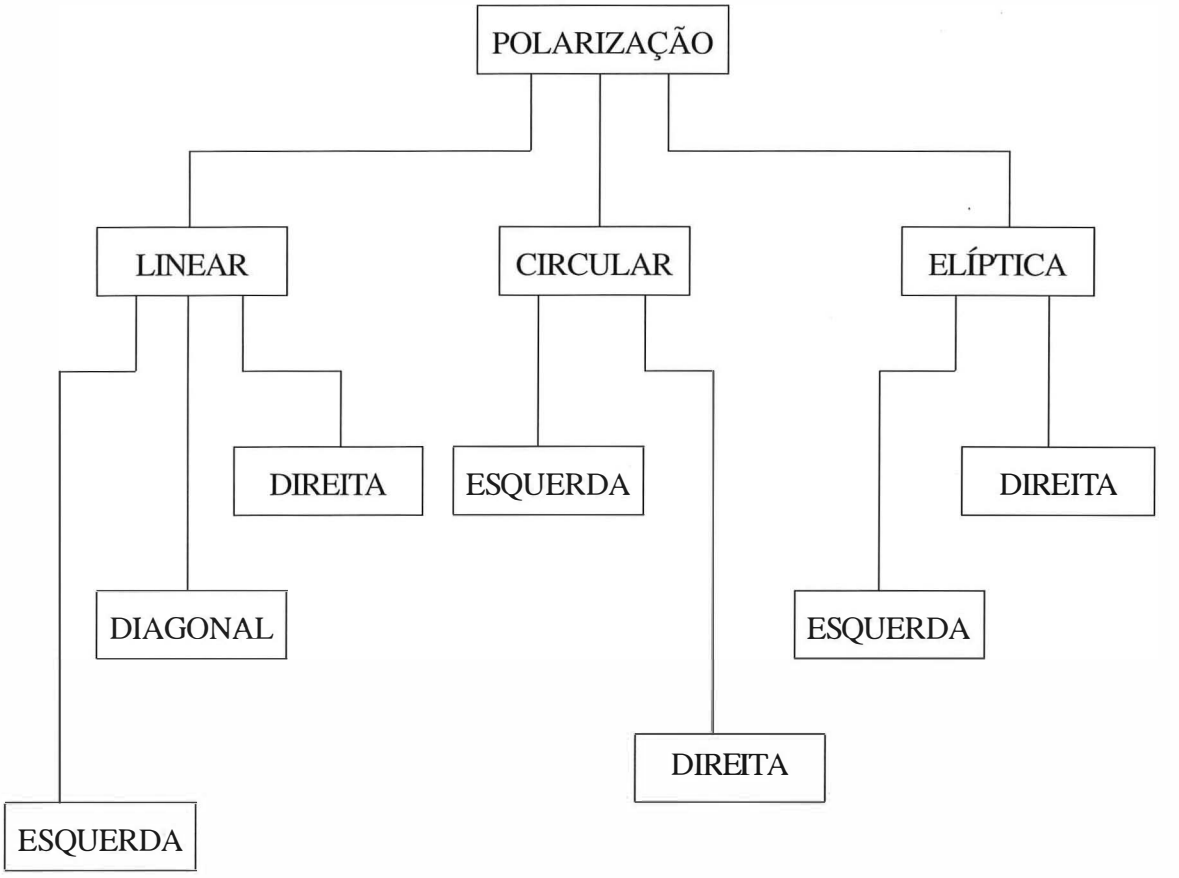


Figura 5: Polarizações

As antenas podem ser de polarização simples ou dupla. No caso desta última e se uma das polarizações não estiver sendo utilizada, deveremos usar uma terminação casada na porta correspondente (deve-se especificar qual a flange a ser utilizada e a máxima VSWR aceitável).

Uma terminação casada (também chamada carga ZL) serve para absorver a energia incidente de radiofreqüência e dissipá-la sob a forma de calor (efeito Joule), sem provocar reflexões indesejáveis na porta.

Uma terminação é uma rede de uma porta (tendo, portanto, dois pólos ou dois terminais). As redes de uma porta são também conhecidas como bipólos ou monoportas (uniportas).

A Figura 6 mostra uma antena de polarização dupla (simbolizada por uma caixa-preta de três portas).

A porta da esquerda é a interface com a linha de transmissão (cabo coaxial ou guia de ondas). As duas portas da direita representam as duas polarizações (horizontal e vertical). As antenas de dupla polarização são circuitos de três portas (hexapólos). Elas possuem, portanto, seis pólos ou seis terminais.

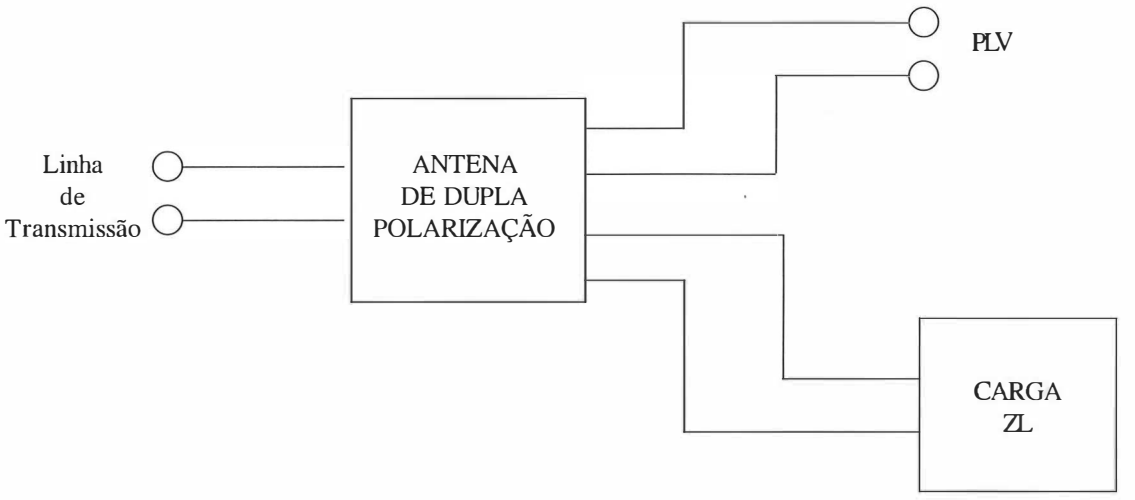


Figura 6: Antena de Dupla Polarização

Repare que uma das portas está terminada por uma carga ZL (a letra "L" vem do inglês *Load*).

No nosso exemplo, a antena está usando a polarização linear vertical (PLV), enquanto que a porta correspondente à polarização linear horizontal (PLH) está terminada por uma carga ZL (tal porta não está portanto em uso).

Algumas pessoas confundem os conceitos de "polarização de uma onda eletromagnética" e de "polaridade de uma tensão elétrica". É razoavelmente comum se ouvir falar de "antena de polaridade vertical", o que é um erro lingüístico por demais gritante.

A polarização de uma onda eletromagnética diz respeito à orientação física de um vetor no espaço com o passar do tempo. Já a polaridade se refere a diferenças de potencial (ddp) em circuitos elétricos e/ou eletrônicos. A polaridade está imediatamente associada aos sinais positivo (+) e negativo (–) das voltagens (= tensões elétricas).

Repare nas diferenças conceituais entre os dois enunciados a seguir.

"Antena recebendo em polarização linear horizontal."

"Fonte de tensão com a polaridade mostrada no circuito."

Diagrama de Irradiação

Uma antena possui direção preferencial de irradiação ou captação onde "a energia flui ou é recebida com mais facilidade".

O diagrama formado por um contorno, onde cada ponto do contorno é proporcional à relação entre a densidade de potência irradiada na direção principal e a densidade de potência irradiada naquela direção, chama-se "Diagrama de Irradiação" (ou *Radiation Pattern*, em inglês).

Os diagramas de irradiação têm representação tridimensional (3D) mas acabam, em geral, sendo dadas duas representações bidimensionais (planas): a vertical e a horizontal. Tais representações ortogonais são dadas de duas maneiras, a saber:

- gráfico de coordenadas polares (magnitude e ângulo) sob a forma circular tradicional,
- sistema polar modificado (representação polar-cartesiana), onde os ângulos estão dispostos sobre dois segmentos de reta colineares (de zero a + 180 graus e de zero a – 180 graus). Os dois segmentos apontam em direções diametralmente opostas.

Uma terceira opção seria a representação de zero a + 360 graus em um mesmo segmento de reta (numa mesma direção e sentido).

Quando um dos lados é o simétrico do outro, só costumamos representar de zero a + 180 graus (pois o outro trecho, de zero a – 180 graus, ficará automaticamente subentendido).

No sistema polar tradicional, o ângulo de zero grau costuma ser disposto noventa graus deslocado no sentido trigonométrico (contrário ao movimento dos ponteiros do relógio) em relação à sua posição no sistema clássico de coordenadas polares da matemática.

Os diagramas de irradiação consistem em um número variável de lóbulos (que são as regiões do diagrama entre dois nulos consecutivos).

O lóbulo onde se situa o máximo irrradiado é dito ser o lóbulo principal (*main lobe* ou *main beam*), e os demais lóbulos são ditos serem os lóbulos secundários. Algumas vezes encontramos escrita a palavra "lobo" (se pronuncia /lóbo/ e não /lôbo/) em vez de lóbulo.

Os fornecedores costumam enviar, em vez do diagrama de irradiação, um envelope do mesmo (que é composto por segmentos de reta ligando os picos principais do diagrama de irradiação verdadeiro). A isto se chama Envoltória do Diagrama de Irradiação (= EDI). Em inglês, a expressão correspondente se chama *Radiation Pattern Envelope* (= RPE).

Para cada modelo de antena temos uma EDI própria.

Os diagramas podem ser dados como função da intensidade de campo ou da densidade de potência (vetor de Poynting). Uma vez que os dois são proporcionais, é costume que se forneça unicamente um deles (o outro poderá, caso se deseje, ser obtido prontamente). O formato não irá se alterar quando usamos qualquer uma das duas representações (campo ou potência).

Uma antena será dita omnidirecional quando seu diagrama de irradiação for uma superfície esférica (ou seja, uma circunferência em qualquer plano que contenha o centro da esfera). É óbvio que, na prática, apenas poderemos aproximar, ainda que muito bem, esta característica idealizada. Uma estrela normal (tal como o nosso Sol) tende a ser uma excelente representação real de um radiador omnidirecional.

A Figura 7 mostra um diagrama de irradiação planificado de uma antena omnidirecional ideal (na forma tradicional de coordenadas polares). O ponto de zero grau se situa na intersecção do diagrama (a circunferência) com o eixo norte (na parte de cima).

Os diagramas de irradiação com envoltória (EDIs) são essenciais para o cálculo de interferência entre sistemas rádio. Em geral, os resultados de interferência obtidos através do uso das EDIs são piores do que a realidade (já que as EDIs são limites superiores aos padrões medidos de irradiação das antenas).

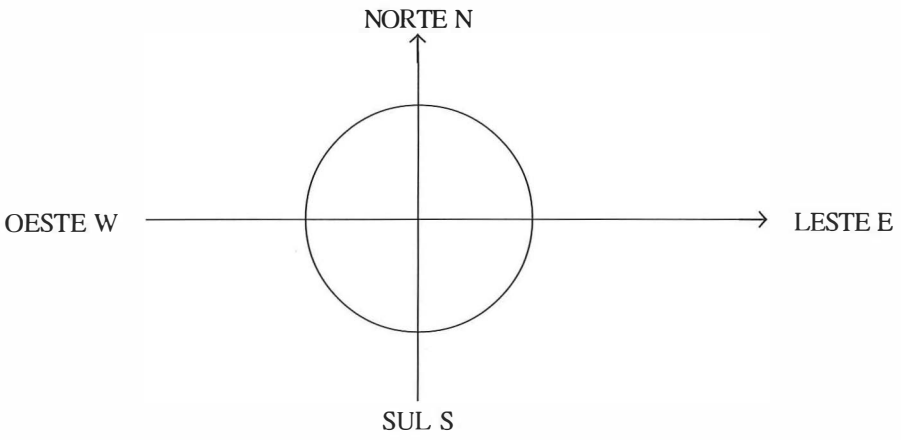


Figura 7: Diagrama de Irradiação Plano de Antena Omni Ideal

Diretividade

É uma medida de quão bem uma dada antena irradia em uma determinada direção e sentido (normalmente o do máximo).

Formalmente é definida como sendo igual ao quociente entre a potência irradiada em uma dada direção e sentido e a potência que seria irradiada por uma antena isotrópica (um ente hipotético que irradiaria uniformemente em qualquer direção do espaço). A definição considera que ambas as antenas são alimentadas com a mesma potência de entrada e estão em condição de ausência de perdas (Lossless Antenna).

Relação Frente-Costas (F/B ou FBR — Front-to-Back Ratio*)*

É o quociente entre a potência irradiada na direção e sentido do máximo e a potência irradiada a + 180 graus (o sentido contrário da mesma direção). É expressa em decibéis ou nepers.

Idealmente uma antena não deveria irradiar nada no sentido contrário ao sentido do máximo. Portanto, quanto maior for o valor de FBR tanto melhor será a antena.

Uma baixa relação frente-costas pode prejudicar a ligação rádio devido a interferências prejudiciais que seriam captadas pelos lóbulos traseiros da antena.

Falando em sentido amplo, uma relação frente-costas é a relação entre a "energia" irradiada em uma direção qualquer e a "energia" irradiada no sentido oposto da mesma direção (180 graus). Isto é válido tanto para a direção do máximo como para qualquer outra direção.

Os fabricantes consideram que o sentido oposto da direção que contém o máximo está, na verdade, balizado por um determinado ângulo Theta. Nesse caso, a FBR seria a relação entre a potência irradiada na direção e sentido do máximo e a potência irradiada a 180° ± Theta (escolhendo-se aí o valor que fornecesse a pior FBR possível).

Vejamos, pois, o seguinte exemplo supondo-se Theta = 10º.

- Na direção e sentido do máximo → G = + 42 dBi
- Em 180º ± 10º → pior valor é igual a + 12 dBi
- FBR = + 30 decibéis

Alguns exemplos práticos de modelos de antenas parabólicas são:

- ERIC 60-23 (60 centímetros 23 GHz) → FBR = 52 decibéis
- SIEM 60-23 (60 centímetros 23 GHz) → FBR = 64 decibéis
- ERIC 1.2-15 (1,2 metro 15 GHz) → FBR = 72 decibéis
- PV 3-17 (3 metros 1,7 GHz) (em polarização vertical) → FBR = 45 decibéis
- PV 3-17 (3 metros 1,7 GHz) (em polarização horizontal) → FBR = 43 decibéis

Conforme podemos ver no último exemplo, a relação frente-costas pode variar de acordo com a polarização da antena.

Alguns autores usam as expressões "Atenuação Frente-Costas" ou "Razão Frente-Costas" para se referirem a esta grandeza.

Ruído

O termo ruído, no âmbito da engenharia de telecomunicações, significa "sinais espúrios presentes na recepção de um ou mais sinais desejados".

Qualquer antena gera uma certa quantidade de ruído (denominado ruído interno) assim como está apta a captá-lo de fontes diversas (ruído externo), contanto que os mesmos estejam dentro da sua banda de operação (= BW).

Na área de antenas os ruídos se classificam em:

1) Ruído cósmico ou ruído galáctico

Devido a fontes de rádio extraterrenas, sendo o Sol a principal delas. Além do Sol, temos as demais estrelas, os planetas, novas, supernovas, satélites naturais (como a Lua), quasares, pulsares. Ver a Figura 8.

2) Ruídos diversos de origem humana (*Man-Made Noise*)

- linhas telefônicas e linhas de transmissão de energia elétrica;
- motores e acionadores elétricos;
- outros equipamentos rádio (radiointerferência);
- seccionadores e chaves; e
- aparelhos eletroeletrônicos em geral (aparelhos de TV).

Ver a Figura 9. Esses ruídos também são denominados de "ruídos artificialmente produzidos", no sentido de que não são causados diretamente pela natureza.

3) Atenuação devido à chuva, tempestades de areia, granizo, neve, gelo, nevoeiro, partículas sólidas em suspensão no ar e gases atmosféricos (oxigênio, nitrogênio e vapor dágua não-condensado).

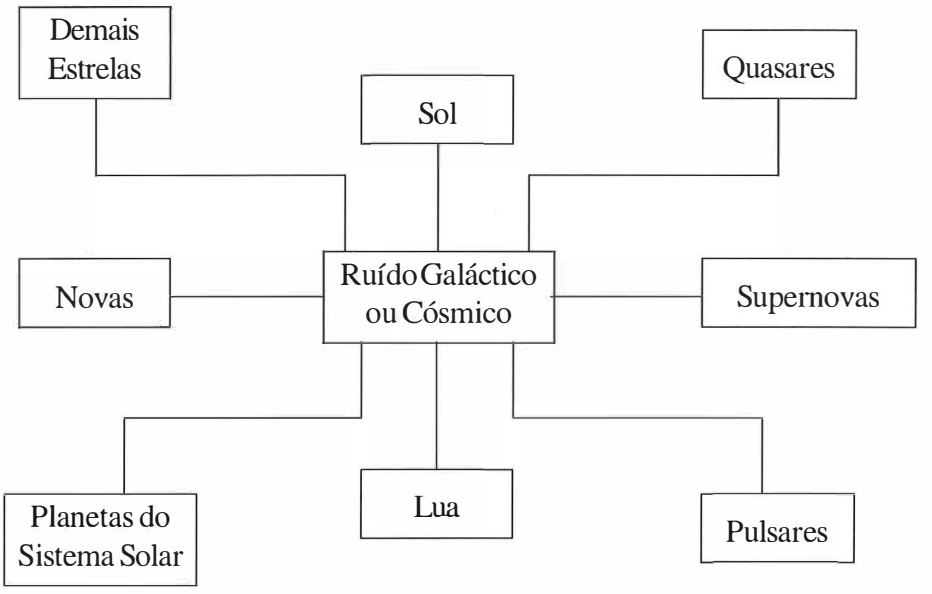


Figura 8: Agentes do Ruído Cósmico

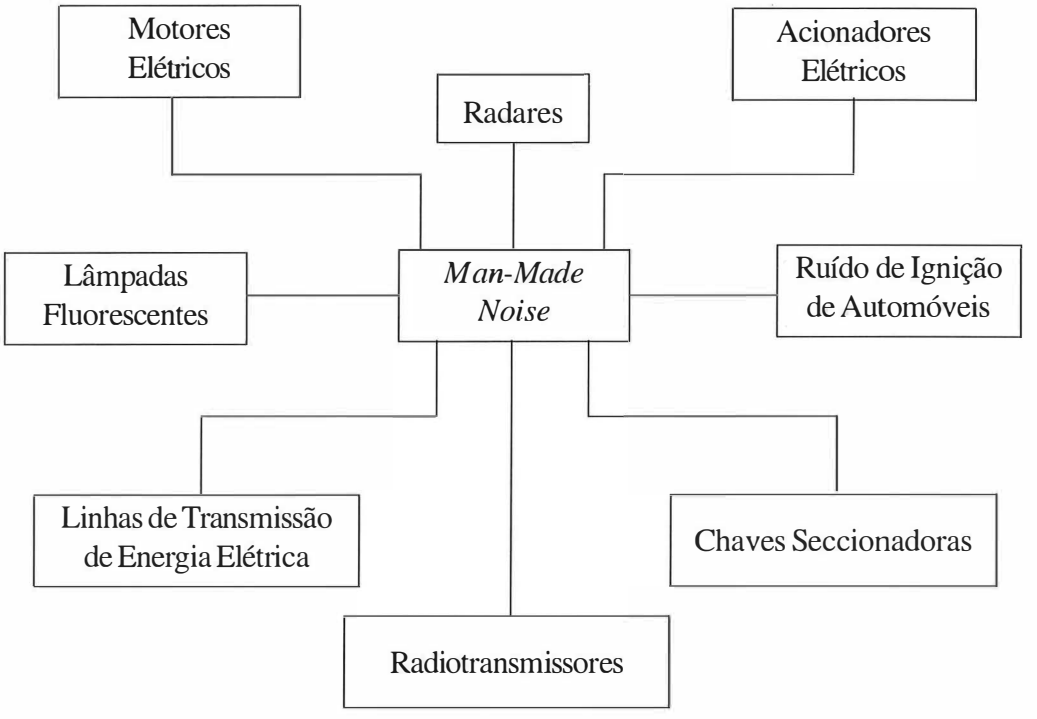


Figura 9: Ruído de Origem Humana

4) Fading ou desvanecimento por multipercursos (*multipath fading*).

5) Fugas de polarização do sinal recebido em função de variações no meio de propagação (uma parte da radiação incidente chegando em outra polarização que não é a polarização esperada).

6) Descargas elétricas na atmosfera (raios) e auroras boreais nas regiões polares.

Ver a Figura 10. O ruído atmosférico também é conhecido nos meios de radioamadorismo como "estática".

7) Ruídos de equipamento (térmico ou Johnson, balístico, etc).

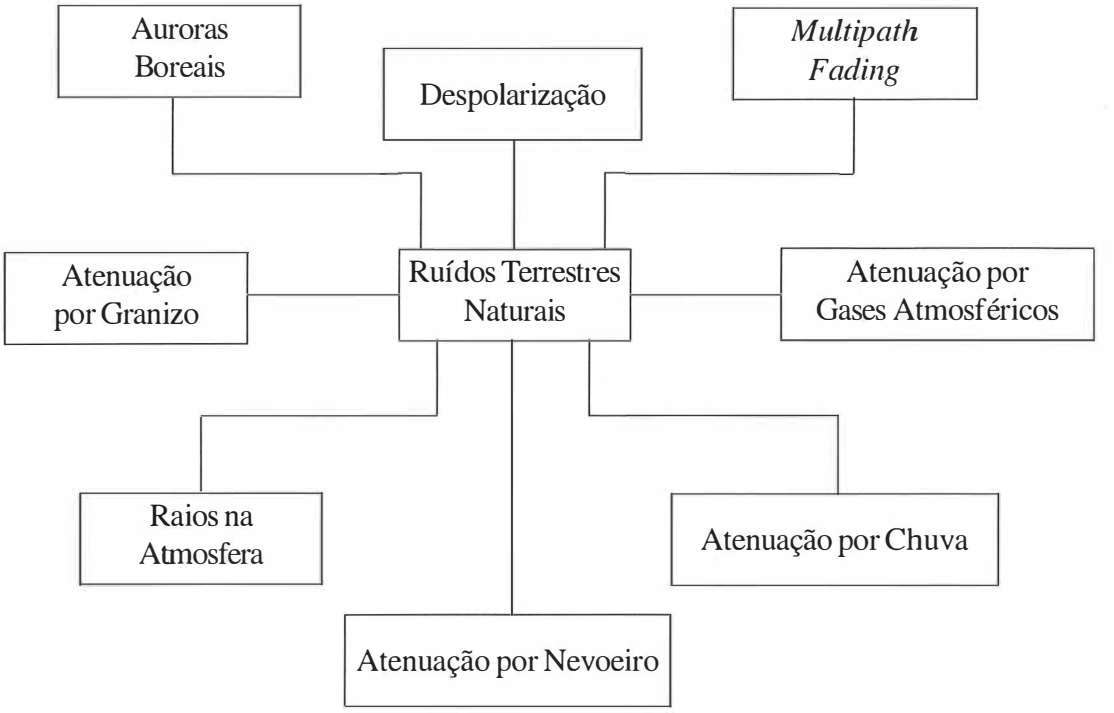


Figura 10: Ruídos Terrestres Naturais

Note que o termo ruído foi empregado com um sentido bastante amplo (pelo fato de englobar interferências, desvanecimentos, atenuações e fugas de polarização). Já na eletrônica a palavra ruído tem significado bem mais restritivo.

Quando nos reportamos às antenas parabólicas, estamos, na verdade, nos referindo ao conjunto formado pelo refletor e *feeder* (iluminador). Assim, o ruído gerado por esta antena será dado pela contribuição de cada um deles (ruído do refletor + ruído do iluminador). Ver a Figura 11. Isto é verdade tanto para os ruídos internos (ou ruídos intrínsecos) quanto para os ruídos externos (ou ruídos captados).

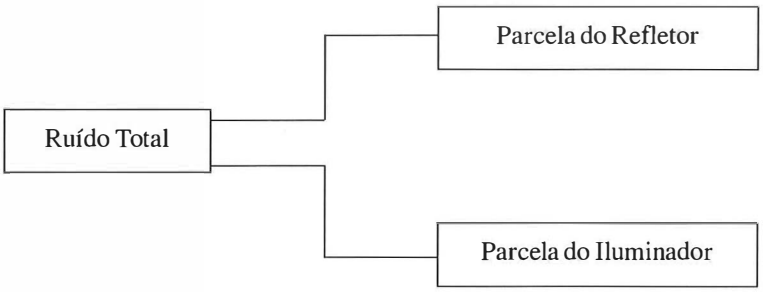


Figura 11: Ruído em Parabólicas

Impedância de Entrada (Zin ou Zent)

A impedância de entrada Zin, expressa em ohms, é aquela medida no ponto de alimentação da antena (porta de entrada ou porta 1-1').

Este é o ponto que delimita a interface entre a antena e a linha de transmissão (guia de ondas, cabo coaxial ou fio duplo plano). Ver a Figura 12.

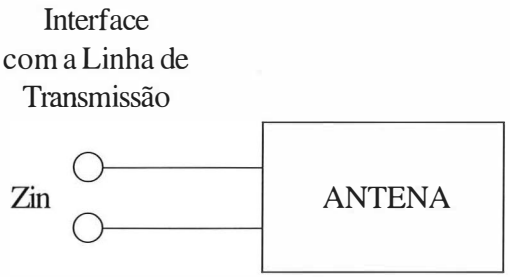


Figura 12: Impedância de Entrada Zin

É necessário que haja um excelente casamento de impedância nesta região de transição, para manter a relação de tensão de onda estacionária (RVOE ou VSWR) a menor possível.

Idealmente, a VSWR deveria ser igual à unidade. Alguns valores comuns na prática para a VSWR são 1,04, 1,06 e 1,10.

Estas VSWR correspondem a perdas de retorno RL (*Return Loss*) de:

a) VSWR = 1,04 → RL = 34,2 decibéis

b) VSWR = 1,06 → RL = 30,7 decibéis

c) VSWR = 1,10 → RL = 26,4 decibéis

A VSWR é uma grandeza adimensional (isto é, não possui unidade de medida). Trata-se de um número puro.

Os fabricantes, algumas vezes, incluem um gráfico da VSWR (no eixo vertical) plotada contra a freqüência (no eixo horizontal). Em outros casos, eles fornecem uma tabela discreta de valores ou ainda a VSWR máxima ao longo de toda a banda de operação.

Existe uma outra possibilidade, que é fornecer a equação de uma curva que limite todos os valores de VSWR que poderão ser encontrados ao longo da faixa. Esta curva (VSWR x Freqüência) costuma ser uma reta, ou seja:

$$VSWR = af + b \tag{7}$$

Onde "a" é o coeficiente angular (inclinação em relação ao eixo horizontal ou eixo das abscissas) e "b" é o coeficiente linear da reta (ponto onde a reta intercepta o eixo vertical ou eixo das ordenadas).

Considerando-se que a antena esteja isolada e sem perdas (ideal), a sua impedância de entrada (Zin) será igual à sua impedância própria (Zp).

$$Zin = Zp \quad \text{para uma antena isolada}$$

A impedância própria Zp é constituída por uma parte real Rp e por uma parte imaginária Xp.

$$Zp = Rp \pm j\,Xp \tag{8}$$

Onde:

Zp = impedância própria (medida em ohms),
Rp = resistência própria (medida em ohms),
Xp = reatância própria (medida em ohms),
j = unidade imaginária (raiz quadrada de – 1).

O sinal da reatância própria Xp (positivo ou negativo) irá depender dela ser indutiva ou capacitiva.

Se existirem objetos nas proximidades da antena (como, por exemplo, outras antenas), a impedância de entrada Zin será alterada e não será mais igual à impedância própria da antena.

São costumeiros os valores de 50 e 75 ohms para Zin.

Área Efetiva de Recepção

Uma antena receptora tem a capacidade de captar energia de uma onda eletromagnética incidente propagando-se no espaço. Esta onda tem associada a ela uma certa densidade de potência S (potência por unidade de área).

Tudo se passa como se a antena tivesse uma área física que, ao ser multiplicada por S, fornecesse a potência por ela recebida. Este é o conceito de "área de recepção" (= AR), "área equivalente de recepção" (= AER) ou "área efetiva de recepção".

AER x S = P donde,

$$AER = \frac{P}{S} \tag{9}$$

Onde:

P = potência captada pela antena (watts),

S = densidade média da potência incidente (watts por metro quadrado),

AER = área equivalente de recepção (metros quadrados).

Ganho

No caso da diretividade, as antenas foram supostas isentas de perdas (o caso ideal). Na realidade, nem toda potência de entrada Pent consegue ser irradiada. Uma medida do quanto é realmente irradiado pelo quanto foi originalmente entregue chama-se rendimento ou eficiência.

$$\text{Rendimento} = \frac{\text{Potência Irradiada}}{\text{Potência de Entrada}} \tag{10}$$

O rendimento é representado normalmente pela letra grega minúscula η (leia-se "éta").

O rendimento é um número puro que teoricamente pode assumir qualquer valor entre zero e um, inclusive os dois extremos. Às vezes expressamos o rendimento em porcentagem, ou seja, o seu valor multiplicado por 100.

Se tivermos um rendimento igual a 0,65, diremos que o rendimento percentual vale 65 por cento.

$$\text{Rendimento Percentual} = \text{Rendimento} \times 100 \tag{11}$$

O ganho G é tão-somente o produto da diretividade D da antena por seu rendimento éta.

$$\text{Ganho} = \text{Diretividade} \times \text{Rendimento} \tag{12}$$

Se o rendimento for unitário, o ganho G será igual à diretividade D (G = D é a condição ideal).

O rendimento total E de uma antena compreende diversas parcelas, a saber:

a) Eo – Perdas ôhmicas na cadeia de alimentação (*feedchain losses*),

b) Em = Perdas devido aos processos de fabricação (gerando, por exemplo, rugosidades e falhas na superfície de reflexão),

c) Eb = Perda por bloqueio (efeito de bloqueio das estruturas de suporte, do sub-refletor, etc),

d) Es = Eficiência no transbordamento (*spillover*),

e) Ei = Eficiência de iluminação.

O rendimento total E será, portanto, dado pelo produtório a seguir:

$$E = Eo \times Em \times Eb \times Es \times Ei$$

Temos que G é função da freqüência (diretamente proporcional), sendo comum especificá-lo no início, centro e fim da banda de operação.

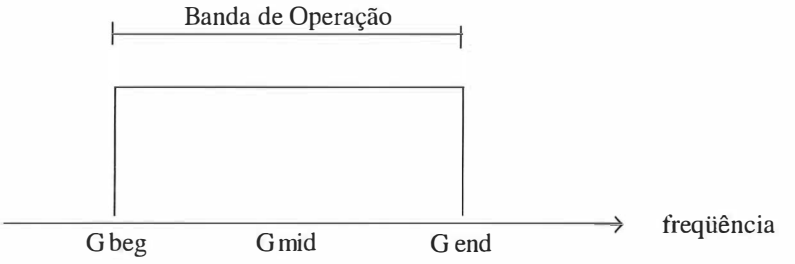
Nesses casos falamos em:

- Ganho no Início da Banda = G beg
- Ganho no Meio da Banda = G mid
- Ganho no Fim da Banda = G end

As abreviaturas usadas vêm diretamente da língua inglesa, ou seja:

- beg de *beginning* (início),
- mid de *middle* (meio),
- end de *end* (fim).

A Figura 13 ilustra a posição dos três ganhos (G beg, G mid e G end) em relação à banda de operação de uma antena hipotética.



G beg = Ganho no início da banda
G mid = Ganho no meio da banda
G end = Ganho no fim da banda

Figura 13: Ganhos x Banda

Nas antenas parabólicas, o ganho é diretamente proporcional ao diâmetro das mesmas. Conseqüentemente, podemos dizer que, em geral, quanto maior for o diâmetro maior será o ganho.

O ganho das antenas parabólicas pode ser calculado através da seguinte fórmula:

$$G = 10 \log \left(\frac{4 \pi AE}{\lambda^2} \right) \quad (13)$$

Onde:

G = ganho da antena,

Log = logaritmo de base dez,

A = área da abertura da antena,

E = rendimento ou eficiência da antena,

λ = comprimento de onda da freqüência de operação,

π = constante numérica irracional "pi".

O rendimento E se situa entre 55 e 65 por cento para a maior parte das antenas parabólicas de SHF.

Supondo um rendimento de 55 por cento (E = 0,55), o ganho G em unidades métricas será dado por:

$$G\,(dBi) = 20 \log (B \times F) + 17,8 \quad (14)$$

onde o ganho G está expresso em decibéis em relação ao irradiador isotrópico (dBi), a freqüência de operação F está expressa em gigahertz, e o diâmetro B do refletor parabólico, em metros.

A antena parabólica vazada tipo grade tubular modelo PV2-890 possui um ganho de 22,5 dBi segundo o fabricante. Aplicando-se a fórmula número 14 para 900MHz encontraremos:

$$G(dBi) = 20 \log (2 \times 0,9) + 17,8 = 22,9$$

Em unidades do sistema inglês de pesos e medidas, o ganho G é dado por:

$$G(dBi) = 20 \log (B \times F) + 7,5 \quad (15)$$

onde a freqüência de operação F está expressa em gigahertz, e o diâmetro B do refletor parabólico, em pés.

O valor do ganho a ser usado para os cálculos de enlace deverá ser sempre obtido das especificações do fabricante. O valor calculado através das fórmulas 14 e 15 somente deve ser considerado em primeira aproximação.

Note que as fórmulas 14 e 15 usaram uma eficiência de apenas 55 por cento (E = 0,55) para caracterizar um ganho bem baixo em uma dada freqüência de operação. É, por conseguinte, um *approach* conservativo para o cálculo de enlace.

Especifica-se, também, uma tolerância para o ganho nominal sob a forma

$$G = Gnom \pm Tol$$

onde Gnom é o ganho nominal e a tolerância é dada em decibéis. Um valor que é tipicamente encontrado é 0,3 decibéis.

Se a diretividade D tiver sido calculada em relação ao irradiador isotrópico, então o ganho G é dado em dBi (decibiéis em relação ao irradiador isotrópico) ou em Npi (nepers em relação ao irradiador isotrópico).

Caso a diretividade D tenha sido calculada em relação ao dipólo de meia-onda, então G será dado em dBd (decibéis em relação ao dipólo de meia-onda), podendo ainda ser usado o Npd (nepers em relação ao dipólo de meia-onda).

Alguns autores usam as abreviaturas dBHWd e NpHWd como sinônimos de dBd e de Npd. As letras maiúsculas HW significam "meia-onda" (oriundas do inglês *Half-Wave*).

Uma outra antena que costuma ser usada como referência é o dipólo de Hertz, e, neste caso, temos as unidades dBHz (decibel em relação do dipólo de Hertz) e NpHz (neper em relação ao dipólo de Hertz).

Ângulo de meia-Potência

Para antenas parabólicas de SHF, o ângulo de meia-potência HPBW (do inglês *Half-Power Beam Width*) é dado aproximadamente por:

$$HPBW = \frac{70}{FB} \qquad (16)$$

onde F é a freqüência em gigahertz e B é o diâmetro do refletor parabólico em pés. O ângulo HPBW é expresso em graus na fórmula 16.

Conforme diz o próprio nome, o ângulo HPBW é aquele que delimita um setor do diagrama de irradiação cujos limites estão três decibéis (a metade da potência) abaixo do nível do lóbulo principal (*main lobe*).

Uma antena parabólica, como o modelo NEC 60-18 (com um diâmetro de 60 centímetros para operação em 18 GHz), possui um ângulo de meia-potência HPBW de dois graus segundo o fabricante. Aplicando-se a fórmula aproximada número 16 encontraremos:

$$HPBW\ (NEC\ 60\text{-}18) = \frac{70}{18 \times \frac{60}{30{,}48}} = 1{,}97 \text{ graus}$$

Essencialmente 2,0 graus em 18 GHz.

Especificações Mecânico-Ambientais

Faixa de Temperatura de Operação

É o intervalo de variação de temperatura onde a antena poderá se manter operacional de acordo com as suas especificações originais de projeto.

São indicadas Tmax e Tmin, medidas em graus Celsius ou Fahrenheit (unidade usada nos países de língua inglesa). A faixa é dada por:

$$\text{Delta T} = \text{Tmax} - \text{Tmin} \tag{17}$$

A equação termométrica que relaciona estas duas unidades é dada por:

$$\frac{C}{5} = \frac{F - 32}{9} \tag{18}$$

Onde:

C = Temperatura expressa em graus Celsius,

F = Temperatura expressa em graus Fahrenheit.

Como exemplo, seja a temperatura de 59 graus Fahrenheit (F = 59). Em graus Celsius teremos:

$$\frac{C}{5} = \frac{59 - 32}{9}$$

logo, C = 15 graus Celsius.

Antigamente, a unidade grau Celsius era conhecida como grau centígrado ou ainda grau centesimal. Atualmente, estas duas formas não devem mais ser usadas (a única forma correta é grau Celsius com a letra C maiúscula). Infelizmente, é muito comum encontrarmos estas duas formas espúrias tanto em livros técnicos quanto em catálogos de fabricantes.

Faixa de Temperatura de Armazenamento ou de Estocagem

Expressa pelas mesmas unidades do item anterior. É definida como sendo o intervalo de variação de temperatura, no qual a antena poderá ser estocada sem que lhe seja causado qualquer dano.

São indicadas Tmax e Tmin (note que estes valores são, em geral, diferentes dos valores do subitem anterior). Geralmente temos:

- Tmax estocagem é MAIOR do que Tmax operação
- Tmin estocagem é MENOR do que Tmin operação

Modos de Fixação

As antenas costumam ser fixadas segundo uma das cinco possibilidades listadas a seguir:

1) Em paredes (*wall-mount*),
2) Sobre uma laje ou telhado (*roof-mount*),
3) Sobre um mastro fincado em uma base sobre o solo (*in-ground mast-mount*),
4) Presas às torres (*tower-mount*),
5) Sob o teto (*ceiling-mount*).

Este último caso é usado nos sistemas de comunicação via rádio que operam em freqüências muito elevadas (como 50GHz, por exemplo) em função do pequeno peso do conjunto transceptor.

Uma sexta categoria contempla as de fixação genérica (como para os receptores de TV, automóveis, rádios caseiros, telefones celulares, *pagers*, telefones sem fio, aparelhos de som) que não se enquadram nas cinco categorias que foram anteriormente citadas.

As antenas parabólicas para satélites costumam ter montagem do tipo sistema AZ-EL (ou Azimute-Elevação).

Existem sempre intervalos de ajuste para se permitir o correto posicionamento das antenas. Tais intervalos, que são medidos em unidades angulares, são em geral do tipo contínuo.

A faixa de ajuste de azimute pode variar de 0 a 360 graus, e a faixa de ajuste de elevação se situa, geralmente, entre 10 e 70 graus (podendo ir de zero a 90 graus). As antenas utilizadas nos enlaces terrestres de microondas também possuem faixas para o ajuste de azimute e de elevação.

Vida Útil

Expressa geralmente em anos. É definida como sendo o intervalo de tempo, sob condições normais, no qual a antena se mantém operacional (dentro das especificações originais de projeto).

A vida útil é degradada de acordo com o mau uso do equipamento ou com condições naturais adversas.

Peso

O peso das antenas é medido em quilogramas-força (kgf) ou libras-força (lbf) nos países de língua inglesa.

É muito comum encontrarmos escrito peso quando, na verdade, o autor se refere à massa (peso de tantos quilogramas, por exemplo).

Isto é um erro grave e não deve nunca ser seguido, muito embora seja uma prática comum nas especificações técnicas, tanto de fornecedores quanto de consumidores e de especificadores.

Confundir os conceitos físicos de massa e de peso é uma prova cabal do baixo nível de conhecimento de Física Elementar que grassa em todas as nossas escolas, universidades e indústrias.

O peso especificado para a antena costuma incluir também as ferragens de fixação associadas.

*Carga de Vento (*Windload*)*

Uma antena é capaz de suportar uma velocidade de vento máxima, que se divide em dois tipos:

– operacional (quando a antena pode manter sua operação normal),

– de sobrevivência (quando a mesma sofre avarias, podendo, inclusive, ser destruída).

A carga de vento operacional possui valor inferior à carga de vento de sobrevivência.

O vento ocasiona dois efeitos nas antenas e também nas torres: forças e torques. Estes efeitos alteram seus valores quando existe uma camada de gelo acumulada nas superfícies. Tal situação é mais acentuada nos países de climas frios, como no Canadá ou nos países escandinavos.

No Brasil, o efeito do gelo praticamente inexiste (a não ser no inverno em certas áreas montanhosas ou na Região Sul).

Para se avaliar os efeitos do carregamento do vento nas antenas e nas torres, são necessárias as seguintes informações:

a) tipo da antena (corneta, Yagi, parabólica vazada tipo tela, parabólica vazada tipo grade tubular, parabólica sólida, refletores de canto),

b) dimensões físicas da antena,

c) características dos ventos (velocidade, direção, freqüência),

d) ângulos de azimute e de elevação da antena,

e) coordenadas do centro da antena em relação ao eixo central da torre,

f) tipo da torre ou da estrutura de suporte.

Os dois efeitos do vento (forças e torques) podem ser subdivididos em três componentes:

— FORÇAS — AXIAIS (= Fa)

— FORÇAS — LATERAIS (= Flat)

— MOMENTO DE TORÇÃO (= Mt)

A velocidade do vento é medida em km/h (quilômetros por hora) ou mph (milhas terrestres por hora). A milha terrestre é uma unidade de comprimento do Sistema Inglês de Pesos e Medidas (SIPM ou BSWM — *British System of Weights and Measures*). A unidade milha terrestre é simbolizada pelas letras minúsculas "mi" (as iniciais do inglês *mile*).

Uma milha terrestre vale exatamente 1.760 jardas. Em metros a relação exata é:

$$1 \text{ mi} = 1.609{,}344 \text{ metros}$$

pois: • 1 jarda = 91,44 centímetros exatamente,
• 1 metro = 100 centímetros.

Aproximadamente, podemos dizer que uma milha terrestre por hora (mph) é o mesmo que 1,6 quilômetros por hora.

É importante falar em milhas terrestres (e não apenas milhas), já que também existe a unidade chamada "milha náutica" (que é bem diferente da milha terrestre). Uma milha náutica vale, aproximadamente, 1.852 metros.

Rugosidade da Superfície do Refletor

A superfície de um refletor parabólico sólido somente é lisa em termos macroscópicos. Microscopicamente falando, ela é cheia de "altos e baixos", que tecnicamente recebem a denominação de rugosidades.

A presença de rugosidades altera o diagrama de irradiação e o ganho, sendo necessário que elas estejam restritas a um valor máximo permissível na superfície refletora.

Desta forma, para a aceitação de refletores em fábrica é efetuado o teste de rugosidade. Na maioria das vezes, ele é realizado manualmente pelo técnico ou engenheiro inspetor segundo normas preestabelecidas. Nesse caso, receberá o nome de "teste do guarda-chuva" (pois o refletor fica virado de cabeça para baixo durante a realização do referido teste).

É norma se considerar um vinte avos (1/20) do comprimento de onda de operação como sendo o máximo valor aceitável de rugosidade em antenas. Isto pode variar com a freqüência de operação e com o desempenho pretendido.

A unidade de medida das rugosidades é o milímetro (mm) ou o milésimo de polegada (mil). O milésimo de polegada recebe o nome "mil" a partir da palavra latina *mille* (= 1.000).

Uma polegada vale exatamente 2,54 centímetros. O milésimo de polegada (mil) vale uma polegada dividida por mil, ou seja:

$$1 \text{ mil} = \frac{1 \text{ polegada}}{1.000}$$

$$1 \text{ polegada} = 2{,}54 \text{ centímetros}$$
$$1 \text{ mil} = 0{,}001 \text{ polegada}$$
$$1 \text{ mil} = 0{,}00254 \text{ centímetros}$$

Processos eletroópticos automatizados permitem medir rugosidades de amplitudes muito menores, com maior precisão e rapidez do que os métodos manuais de outrora.

Flange de Entrada

É necessário que se especifique qual é o tipo da flange de entrada (*input flange*) que será empregada nas antenas que se conectam aos guias de onda (quaisquer que sejam os guias).

Nos sistemas de microondas existem diversos tipos de flanges, dentro os quais podemos citar os flanges das séries CPR( )G, PDR, CPR( )F, CMR( ), UER( ), etc.

Os guias de onda podem ser de três tipos básicos (de acordo com a sua seção reta), a saber:

a) Retangulares

A seção reta é um retângulo de dimensões "a" e "b". Ver a Figura 14.

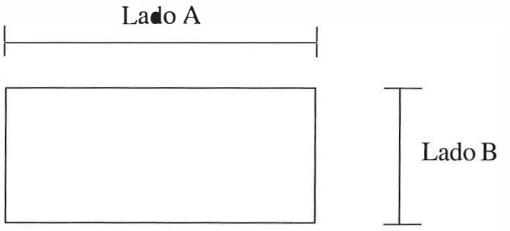


Figura 14: Flange Retangular

b) Circulares

A seção reta é um círculo de raio "R" ou diâmetro "D". Ver a Figura 15.

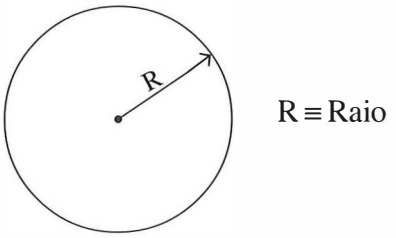


Figura 15: Flange Circular

c) Elípticos

A seção reta é uma elipse de semi-eixos "f" e "g". Ver a Figura 16.

Podemos dizer que a seção circular é um caso particular da seção elíptica (onde os dois semi-eixos da elipse são iguais entre si e iguais ao raio).

$$F = g = \text{Raio} \text{ para seção circular}$$

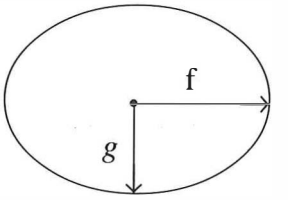


Figura 16: Flange Elíptica

Para antenas que se conectam a cabos coaxiais esta especificação é denominada "TERMINAÇÃO" ou "CONECTOR". Um exemplo típico são os conectores tipo N (machos ou fêmeas). A antena parabólica vazada modelo PV2-890 utiliza um conector tipo N agregado com um rabicho de cabo coaxial RGC-213 para dar flexibilidade de conexão.

Pressurização

Os sistemas irradiantes de guias de onda e cabos coaxiais costumam ser pressurizados, ou seja, são mantidos sob pressão constante com o intuito de se evitar que a umidade penetre no seu interior (o que se viesse a ocorrer iria causar degradação do desempenho do sistema, tais como: piora da VSWR e atenuação crescente).

A pressurização é realizada com ar seco sob pressão, podendo ser do tipo estática ou dinâmica.

Entende-se por estática aquela onde o sistema recebe uma carga de pressurização e logo após retira-se a fonte pressurizadora. Com o correr do tempo sempre acontece alguma despressurização (ou perda de pressão) e haverá então necessidade de aplicação de uma nova carga.

Já o tipo dinâmico mantém permanentemente uma fonte pressurizadora acoplada (que é igualmente reservatório). Esta fonte poderá ser composta por um desumidificador (desidratador) automático ou um tanque de nitrogênio com regulador.

Periodicamente é feita manutenção (preventiva e corretiva caso seja necessário). Sensores de umidade e de pressão, conectados a um sistema de monitoramento, avisam a um centro de supervisão a ocorrência de queda de pressão e/ou da presença de umidade interna.

Algumas especificações dos pressurizadores são:

— Consumo de potência (em operação e *stand-by*) em volt-ampères (VA) ou quilovolt-ampères (kVA),

— Dimensões físicas (em milímetros ou polegadas),

— Peso (em quilogramas-força ou libras-força),

— Capacidade Temporal (em litros ou pés cúbicos por minuto),

— Tensão de alimentação e freqüência de operação da unidade (DC, 50 ou 60 hertz).

É interessante lembrar que as unidades de medida de pressão que são normalmente empregadas na prática são:

• lbf/in² (libra-força por polegada quadrada) ou psi (*pounds per square inch*),

• kgf/cm² (quilograma-força por centímetro quadrado).

Segundo o Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade oficial da grandeza física pressão deveria ser o pascal (Pa) sob a forma prática de um múltiplo (quilopascal, kPa ou megapascal, Mpa).

Note que o símbolo da unidade pascal deve ser escrito com a letra "P" maiúscula seguido pela letra "a" minúscula. Os prefixos "quilo" e "mega" são simbolizados, respectivamente, com as letras "k" minúscula e "M" maiúscula.

RADOMES

Radome é um neologismo da língua inglesa que significa *Radar Dome* ou "domo do radar" em português. A palavra foi adotada integralmente no linguajar técnico brasileiro.

Radomes são artefatos mecânicos passivos, de formato cônico ou de formato planar, usados com os seguintes propósitos:

a) proteção contra a acumulação de neve e gelo sobre o irradiador e a superfície refletora (nos climas frios),

b) redução da carga de vento na superfície do refletor,

c) proteção contra poeira, dejetos de aves e construção de ninhos,

d) barrar a ação do granizo,

e) pressurização,

f) casamento de alimentadores,

g) prevenção da deterioração por raios ultravioleta,

h) manutenção da aerodinâmica de mísseis e aeronaves em geral.

Nos climas frios os radomes podem ser aquecidos (*heated*).

Estando o radome efetuando uma função mecânica, é imediato que ele não deverá exercer qualquer perturbação no comportamento eletromagnético da antena (idealmente falando). Isto significa que ele deverá ser transparente tanto em relação às ondas emitidas quanto em relação às ondas captadas.

Na verdade, os radomes sempre introduzem uma pequena perda suplementar que se situa entre 0,5 e 2 decibéis (a chamada perda do radome). Esta perda deve ser sempre incluída no cálculo do enlace.

Os radomes também podem degradar a VSWR da antena ao longo da banda de operação e, particularmente, em algumas freqüências específicas.

TABELA DE ESPECIFICAÇÕES

A tabela 4 mostra algumas características técnicas da antena linear Yagi modelo TY-900. Esta antena é muito usada para enlaces de comunicação ponto-a-ponto na banda de 900 MHz e estações de telemetria (fixas).

ANTENA = YAGI-UDA TY-900	
Faixa de Freqüência (MHz)	**928 a 953**
Ganho (dBd)	10
Impedância (ohms)	50
Polarização	H ou V
Relação Frente-Costas (dB)	20 mínimo
VSWR máxima	1,5
VSWR típica	1,35
Potência de Entrada (W)	100
Terminação	N fêmea

IME BIBLIOTECA

Tabela 4

Sua montagem é extremamente simplificada em razão do baixo peso e das pequenas dimensões. Ela é fixada em um tubo ou mastro com diâmetro externo máximo de cerca de seis centímetros (pouco mais de duas polegadas).

A Figura 17 mostra quatro envoltórias do diagrama de irradiação da antena Yagi TY-900: paralelo H, cruzado H, paralelo V e cruzado V. Note que o ganho está expresso em decibéis em relação ao isotrópico (= 12,2 dBi), que equivalem a 10 decibéis em relação ao dipólo de meia-onda.

O eixo horizontal está calibrado em graus (de – 180° até + 180° passando pelo zero). Note uma mudança de escala nos pontos de ± 15 graus o que é comum nas EDIs. O eixo vertical está calibrado em unidades de ganho e não em diretividade (decibéis abaixo do nível do lóbulo principal).

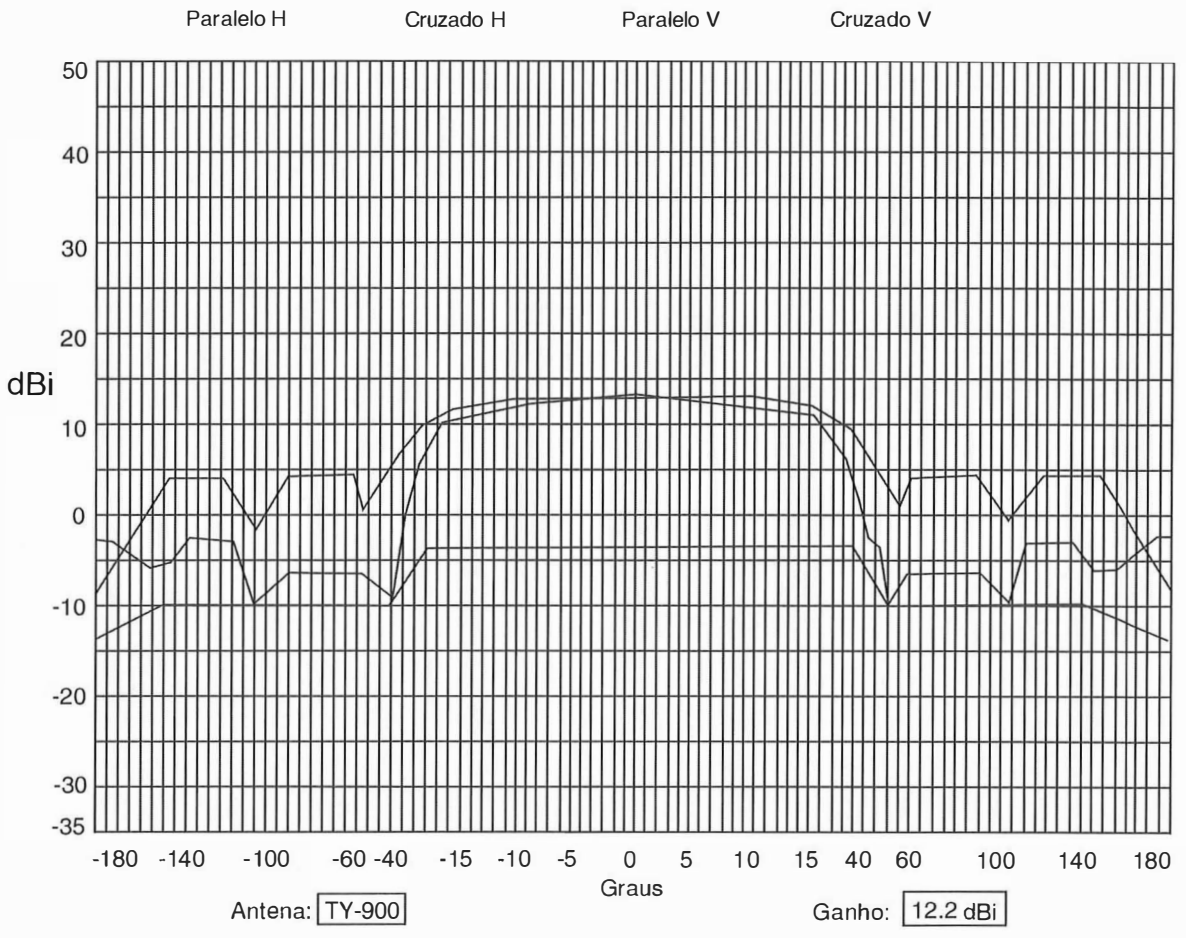


Figura 17: Antena Yagi TY-900-EDIs

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 – Andrew Catalog 34.
2 – *Antenna Systems Engineering Catalog.* Telewave Inc., Califórnia, EUA.
3 – *Apostila Antenas e Propagação.* EMBRATEL, 1974.
4 – BALANIS, Constantine A. *Antenna Theory: Analysis and Design.* Singapore, John Wiley & Sons, 1982.
5 – COLLIN, Robert E. *Antennas and Radiowave Propagation.* Third Printing. Singapore, McGraw-Hill Book Company, 1988.
6 – ESTEVES, Luiz Claudio. *Antenas: Teoria Básica e Aplicações.* São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1980.
7 – EVANS, B. G. (Edited By). *Satellite Communication Systems.* IEE Press.
8 – Gabriel Electronics, Catalog 900, EUA. *Microwave Point to Point Antenas, Transmission Line Systems, Pressurization Equipment, Installation Services.*

9 – GOMES DA SILVA, Marcello Praça. *Cabos Coaxiais — Um Tutorial*. Revista ELÉCTRON, nº 63.
10 – GTE Lenkurt. *Engineering Considerations for Microwave Comm. Systems*. Califórnia, EUA, 1972.
11 – HAYT JR., William H. *Eletromagnetismo*. Terceira edição. Rio de Janeiro, LTC — Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1985.
12 – JASIK, Henry. *Antenna Engineering Handbook*. Primeira edição. McGraw-Hill Book Company, EUA, 1961.
13 – JESSOP, G. R. *VHF UHF Manual*. Quarta edição. Avon, Radio Society of Great Britain, 1991.
14 – KRAUS, John D. e CARVER, Keith R. *Eletromagnetismo*. Segunda edição. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Dois S.A., 1986.
15 – KRAUS, John D. *Antenas*. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Dois S.A., 1983.
16 – LEESON, David B. *Physical Design of Yagi Antennas*. Primeira edição, First Printing. EUA, ARRL, 1992.
17 – MARIOTTO, Paulo A. *Ondas e Linhas*. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Dois S.A., 1981.
18 – ORR, William I. e COWAN, Stuart D. *Beam Antenna Handbook*. Segunda edição, First Printing. EUA, Radio Publications Inc., 1990.
19 – RAMO, Simon; WHINNERY, John R. e VAN DUZER, Theodore. *Campos e Ondas em Eletrônica das Comunicações*. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Dois S.A., 1981.
20 – SILVA, Gilberto Vianna Ferreira da e BARRADAS, Ovídio César Machado. *Sistemas Radiovisibilidade*. Volume 1, Terceira edição. Rio de Janeiro, LTC — Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., EMBRATEL, 1983.
21 – WEEKS, W. E. *Antenna Engineering*. Nova York, McGraw-Hill Book Company, 1968.
22 – *Wide Band Antennas and Control Systems*. Tecom Industries, Inc. Chatsworth, Califórnia, EUA.

Tudo o que a natureza atribui a qualquer homem em qualquer época destina-se ao bem desse homem naquele momento.

Marco Aurélio

A natureza segue seu próprio trajeto, e tudo que nos parece uma exceção na verdade segue uma ordem.

Goethe

Às vezes o medo pode ser usado a nosso favor, motivando-nos a fazer o que é correto e necessário.

Provérbio Popular

ACADEMIA BRASILEIRA DE ENGENHARIA MILITAR — ABEMI

A Academia Brasileira de Engenharia Militar — ABEMI — é uma instituição civil, sem fins lucrativos, que congrega engenheiros, arquitetos e outros profissionais, militares e civis, pessoas físicas e jurídicas, ligadas à engenharia brasileira de interesse militar.

Criada em 6 de julho de 1993, encontra-se registrada sob o nº 08288 no 7º Registro Civil de Pessoas Jurídicas na Cidade de São Paulo, tendo sede na Rua São Joaquim, 329, Liberdade, São Paulo, SP.

Para premiar personalidades militares e civis, que se hajam distinguido no exercício de sua profissão, tenham prestado importante contribuição à engenharia militar brasileira, às Forças Armadas, aos assinalados serviços à Academia, a ABEMI instituiu a Comenda da Legião do Mérito do Engenheiro Militar, em diferentes graus, que é a mais alta distinção honorífica concedida pela referida instituição. A insígnia é constituída por uma cruz de cinco braços, maçanetados, esmaltada em branco, com bordas de ouro, tendo ao centro um disco de cor azul-médio, ostentando em ouro uma engrenagem de 12 dentes, com sabre em seu interior, sobreposta ao mesmo uma esfera armilar, encimados por uma águia em vôo ascendente, ornados por louros, sustentada por fita em azul-médio.

No dia 6 de abril do corrente ano, a ABEMI em solenidade realizada no Quartel-General do Comando Militar do Sudeste deu posse aos seus novos acadêmicos, assim como condecorou, com a medalha de Legião do Mérito do Engenheiro Militar, militares da ativa e da reserva das Forças Armadas e, também, autoridades civis.

Na oportunidade, o Presidente da ABEMI, Contra-Almirante Engenheiro Naval (Ref) Yapery Tupiassu de Britto Guerra proferiu o seguinte discurso:

A Academia Brasileira de Engenharia Militar, com um marinheiro ao leme, recebe-o nesta noite festiva, embandeirada em arco, como o fazem os navios de todos os países, em dias de festas nacionais. Para os não familiarizados, os navios, quase humanos, expressam sua alegria utilizando as bandeiras e galhardetes de seus regimentos de bandeiras, conectadas umas as outras, num autêntico arco, que começa no bico de proa, vai ao topo do mastro grande e daí até a popa. Dá ao navio um aspecto festivo, indicando visualmente júbilo,

alegria. Na verdade, parece pertinente expressar marinheiramente nosso júbilo, mesmo porque não festejamos apenas o aniversário da nossa instituição, mas também, neste mês, os quinhentos anos da descoberta do Brasil, pelo Almirante Pedro Alvares Cabral, formado em Sagres, antecessora remota da nossa Escola Naval de Villegagnon, *alma mater* dos oficiais da Marinha do Brasil, inclusive deste modesto orador. Portanto, não me ocorre melhor figura do que o embandeiramento em arco, para demonstrar o imenso júbilo de que está possuída a nossa academia, com esta cerimônia sendo realizada com a moldura honrosa deste Quartel-General, a presença amiga das autoridades e deste auditório ilustre. Por isso, pareceu-me apropriado transplantar para esta cerimônia o sentir marinheiro e expressar nosso júbilo da maneira como o fazem os homens do mar.

A nossa academia, como é sabido, é uma sociedade civil sem fins lucrativos, que congrega engenheiros de várias especialidades, militares e civis, arquitetos e, excepcionalmente, outros profissionais de nível universitário, cujas atividades são, direta ou indiretamente, ligadas a engenharia de interesse militar. Tem como objetivo o incremento e a difusão de conhecimento científico e tecnológico; o assessoramento dos governos federal, estadual e municipal em assuntos técnicos de interesse da segurança nacional; a assessoria às federações e associações de classe da indústria, do comércio e da agricultura, em assuntos de natureza técnica e, acima de tudo, oferecer à sociedade brasileira como um todo a imensa gama de conhecimentos técnicos e experiência administrativa que caracteriza seu Corpo Acadêmico. Assinalo, por pertinente, que a idéia da constituição da nossa academia partiu de um grupo de oficiais engenheiros, em outubro de 1987, e, após longo período de gestação e maturação, foi formalmente criada em julho de 1993. Coube ao Acadêmico Coronel Waldeck Nery de Medeiros, na qualidade de secretário-geral, o gerenciamento das atividades exigidas pela burocracia, desde sua criação até os dias que correm, sempre com a eficiência e a dedicação que o caracterizam.

A Academia acolhe, ainda, em seus quadros membros efetivos e institucionais, além de honorários e beneméritos. Os membros institucionais são as organizações mantenedoras que ajudam a academia a desenvolver suas atividades com apoio financeiro, de vez que não há qualquer tipo de contribuição pecuniária por parte dos acadêmicos, nem são cobrados os serviços por ela prestados. A existência de entidades mantenedoras, diga-se de passagem, é uma prática consagrada em entidades congêneres, tais como o Instituto Liberal, o Centro de Integração Empresa Escola etc. A nossa academia já conta, para honra nossa, como membros institucionais, a Federação de Indústrias do Estado de São Paulo, a Federação de Agricultura do Estado de São Paulo e o Banco Bradesco, a quem agradecemos a confiança, pois nos apoiaram desde a primeira hora.

Relembro, nesta oportunidade, que sou dos que acreditam firmemente no primado do homem, do profissional, que opera em todos os ramos da atividade humana. Advogo a inutilidade da existência de maquinário e equipamento altamente sofisticado, se não houver, ao mesmo tempo, pessoal habilitado para operá-los. Conheci, na minha longa vida profissional, tanto como oficial do Corpo da Armada, quanto como membro do Corpo de Engenheiros Navais, navios construídos em série, com mesmo projeto, mesmo tipo de maquinário e armamento, pelo mesmo estaleiro, mas com performance completamente diferente. Alguns eficientes, corajosos, verdadeiros expoentes

de sua classe, enquanto outros resultaram em fracassos. A diferença resultava de apenas dois elementos — comando e tripulação, isto é, da qualidade daqueles que os tripulavam. Mas, como declarei no meu discurso na inauguração desta entidade, há dois anos, continuo acreditando no primado da experiência, porque, segundo Horácio, "sabedoria não é sabedoria se foi adquirida somente nos livros". A grande escola do engenheiro é a escola da vida. As faculdades, os diplomas, os cursos de pós-graduação dão as bases técnicas imprescindíveis, mas é projetando, construindo, reparando, fazendo, acertando, errando, experimentando que se aprende, realmente, uma profissão. Em outras palavras, é na prática que se fazem os grandes engenheiros, porque é assim que se adquire experiência, e eu tenho a honra de afirmar que no nosso Corpo Acadêmico se concentra um manancial extraordinário de experiência e conhecimento técnico que pode e deve ser utilizado tanto para o desenvolvimento tecnológico como para ajudar a economia do País.

Num mercado de trabalho como o do nosso Brasil, onde um homem de 45 anos é considerado velho para efeito de emprego; num país onde o sistema educacional em todos os níveis é reconhecidamente deficiente; numa sociedade onde o analfabetismo ainda é um problema nacional, a não utilização do conhecimento tecnológico e da experiência daqueles que sabidamente as possuem, na minha maneira de ver e sentir, constitui crime contra os interesses da Nação. Por outro lado, é necessário reconhecer que a carreira militar não é uma atividade inespecífica e descartável, mas um ofício absorvente que condiciona e autolimita até o fim. Como escreveu o ilustre General Otávio Costa: "Ela não nos exige as horas de trabalho da lei, mas todas as horas da vida, nos impondo também nossos destinos." A farda não é uma veste que se despe com facilidade, mas uma pele que adere a própria alma, irreversível e para sempre, por isso é fácil reconhecer o conflito com que se defronta um engenheiro das Forças Armadas ao deixar o serviço ativo, por imposições regulamentares, no apogeu do seu conhecimento técnico e ainda em pleno vigor físico para continuar a desenvolver suas atividades profissionais. A dificuldade acaba privando a Nação dos conhecimentos e da experiência acumulados por esses engenheiros.

A maioria absoluta do nosso Corpo Acadêmico é composta por oficiais engenheiros das Forças Armadas, profissionais da mais alta qualificação técnica e de grande experiência profissional. Podem e devem continuar ajudando o Brasil. Ao contrário de outros profissionais, o engenheiro não trabalha sozinho, ninguém projeta sozinho um navio ou um tanque de guerra ou um avião ou constrói uma barragem; ninguém delineia sozinho um plano de política industrial ou de pesquisa tecnológica. Aqui, na nossa academia, há talento e experiência suficientes para a constituição de grupos de trabalho e comissões de natureza e especialidade diversas, plenamente capazes de sugerir soluções adequadas para os problemas da sociedade brasileira, e, aos poucos, ela se prepara para isso. Ainda enfrentamos dificuldades operacionais, mas já temos um grupo de trabalho preparando um programa de trabalho técnico para o ano em curso.

Para terminar, permitam que afirme que nossa academia é uma personalidade jurídica deste País; não se envolve em política, mas exerce a cidadania acompanhando e analisando os atos dos poderes da República, elogiando-os ou criticando-os, sempre construtivamente. Nosso compromisso não é com políticos nem com governos, mas com a Nação brasileira, cuja honra,

integridade e instituições, todos nós, um dia, juramos defender até mesmo com o sacrifício da vida. Por isso, além das homenagens que serão prestadas aqui, nesta noite, num gesto simbólico de respeito, apoio e consideração, o Conselho da Academia resolveu conceder ao Exmo. Sr. Ministro da Defesa Dr. Geraldo Magela da Cruz Quintão, ao Exmo. Sr. Comandante da Marinha, Almirante-de-Esquadra Sérgio G. F. Chagasteles, ao Exmo. Sr. Comandante do Exército General-de-Exército Gleuber Vieira e ao Exmo. Sr. Comandante de Aeronáutica Tenente-Brigadeiro-do-Ar Carlos de Almeida Baptista a Legião do Mérito do Engenheiro Militar, no grau de Grã-Cruz, condecoração nunca antes concedida pela nossa organização, nem mesmo aos seus acadêmicos, na certeza de que os corações dos chefes do nosso Sistema de Defesa vibrem em uníssono com os mais legítimos sentimentos e ideais da Academia. CT

Provérbios Populares

A fé em um Ser Superior pode ser o caminho para a paz e a felicidade.

A intuição cresce à proporção que aumentam a fé e a confiança em Deus.

O hoje pode parecer igual a ontem, mas você tem a oportunidade de vivenciá-lo de maneira completamente diferente.

Quando ajudamos outras pessoas, em geral dizemos a elas exatamente o que nós precisamos ouvir.

Às vezes a gota d'água leva à primeira mudança.

Atualize os seus conhecimentos por intermédio da Biblioteca do Exército, a preços nunca vistos!

PEDIDO DE ASSINATURA

COLEÇÃO GENERAL BENÍCIO — ANO 2001

Composta de 12 (doze) obras selecionadas, de renomados autores, nacionais e internacionais, sobre temas de grande interesse na atualidade.

REVISTA DO Exército Brasileiro

Periódico quadrimestral com informações variadas sobre a vida na caserna, temas históricos e técnico-profissionais desde 1882.

C&T REVISTA MILITAR DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA

Periódico quadrimestral sobre pesquisa e desenvolvimento científico-tecnológico do Exército Brasileiro.

A DEFESA NACIONAL

Periódico quadrimestral de assuntos militares e estudo de problemas brasileiros. Circula nos meios civil e militar desde 1913.

Faça seu pedido!

COLEÇÃO GENERAL BENÍCIO

- ☐ **à vista – R$ 210,00**
- ☐ **02 vezes – R$ 105,00 (válido até 20 Set)**
- ☐ **03 vezes – R$ 70,00 (válido até 20 Ago)**
- ☐ **05 vezes – R$ 45,00 (válido até 20 Jun)**

REVISTAS

- ☐ **Exército Brasileiro – R$ 40,00 (à vista)**
- ☐ **A Defesa Nacional – R$ 40,00 (à vista)**
- ☐ **Ciência & Tecnologia – R$ 40,00 (à vista)**

Envie cheque correio ou vale postal, nominal à "Biblioteca do Exército" para efetuar sua assinatura.

Dados cadastrais

Nome			Profissão	
Militar ☐ Ativa ☐ Reserva	OM	Posto/Grad		Prec – CP
Endereço Rua			Nº	Complemento
Cidade	UF	CEP	Tel.	Fax.
E-mail				

BIBLIOTECA DO EXÉRCITO

Palácio Duque de Caxias – Praça Duque de Caxias, 25 Ala Marcílio Dias – 3º andar – CEP 20221-260 – Rio de Janeiro, RJ.

☎ Assinaturas 0800 238365 (grátis) ou (21) 519-5715 – Fax (21) 519-5569 – E-mail: bibliex@ism.com.br

Recorte e preencha este PEDIDO DE ASSINATURA, junte o(s) cheque(s) e use o envelope anexo para envio à Biblioteca do Exército.

NA VELOCIDADE DAS CORES

Evoluir sempre, a toda velocidade. É nisso que a Sermograf acredita.

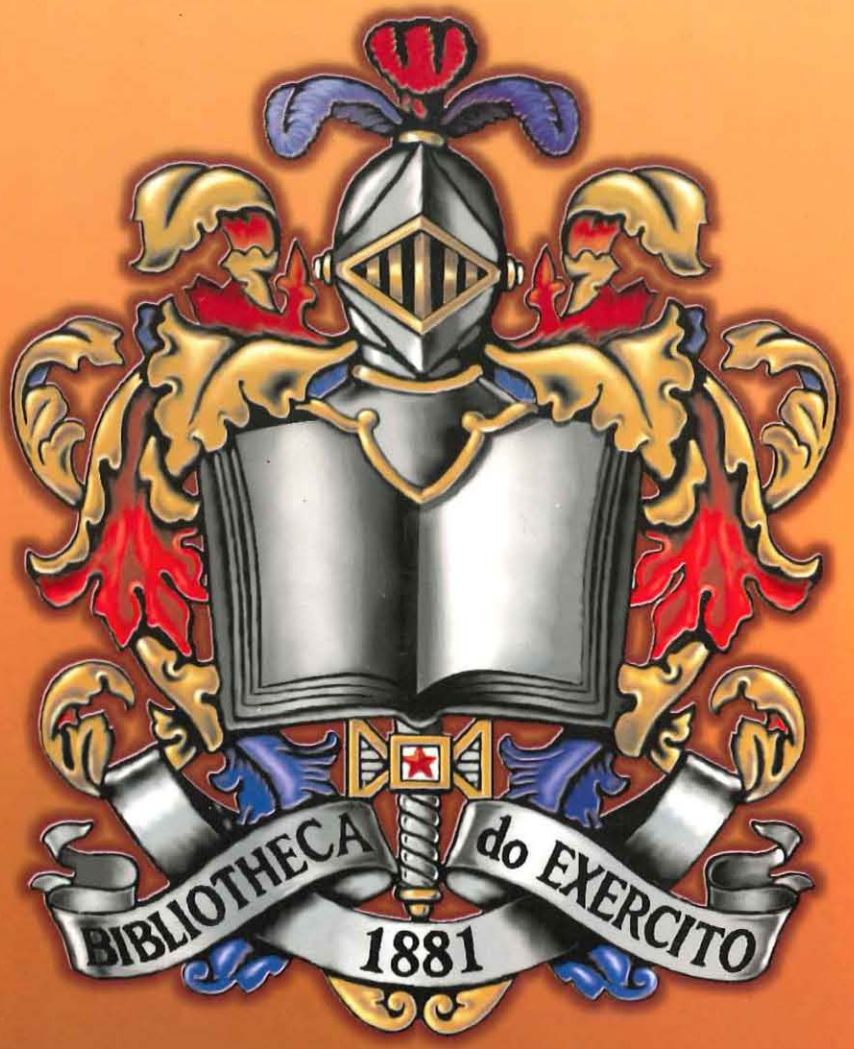
Apresentamos nossa mais nova conquista: a impressora Roland Favorit com sistema Allcolor.

Uma máquina feita sob medida para nossa agilidade e qualidade dos nossos serviços.

SERMOGRAF
artes gráficas e editora ltda.

Rua São Sebastião, 199 - Petrópolis - RJ - 25645-040

Tel.: (24) 237-3769



Biblioteca do Exército

Cada vez mais a serviço dos ideais, dos valores e das necessidades da cultura militar brasileira.